

Revista de la

Academia

Veterinaria

Mexicana

AVM





Revista de la Academia Veterinaria Mexicana AVM

ÓRGANO OFICIAL DE LA ACADEMIA VETERINARIA MEXICANA, A.C. 2º Segunda Emisión |
www.academiaveterinariamexicana.com.mx

Consejo Directivo 2022-2023

PRESIDENTE

José Armando Mateos Poumián

VICEPRESIDENTE

María Masri Daba

SECRETARIO

José Carlos Rosales Ortega

TESORERA

Laura Patricia Romero Romero

GERENTE

Dulce María Puente Guzmán

Comité Editorial

Editora Responsable

María Elena Trujillo Ortega

Editoras Principales

Ana Paola Velasco Espinosa

María Elena Trujillo Ortega

Ciencias Básicas

José Armando Mateos Poumián

Salud Pública

José Juan Martínez Maya

José Carlos Rosales Ortega

Medicina Veterinaria

Susana Mendoza Elvira

José P. Ciriaco Tista Olmos

María Masri Daba

Gary García Espinosa

Eduardo Sánchez López

Ciencias Zootécnicas

Arturo Ángel Trejo González

María Elena Trujillo Ortega



Revista de la Academia Veterinaria Mexicana AVM

ÓRGANO OFICIAL DE LA ACADEMIA VETERINARIA MEXICANA, A.C. 2º Segunda Emisión |
www.academiaveterinariamexicana.com.mx

REVISTA DE LA ACADEMIA VETERINARIA MEXICANA AVM

REVISTA DE LA ACADEMIA VETERINARIA MEXICANA AVM, 2º Segunda Emisión, febrero 2024 es una publicación bianual editada por la Academia Veterinaria Mexicana, A.C., Avenida Universidad, No. 3000, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, www.academiaveterinariamexicana.com.mx, academia.veterinaria@gmail.com.

Editor responsable: Academia Veterinaria Mexicana, A.C. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-081011510200-102, ISSN: 2992-7919, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este Número, María Elena Trujillo Ortega, Avenida Universidad, No. 3000, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, fecha de la última modificación, 30 de septiembre de 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Contenido

Evaluación de riesgo de introducción, exposición, mitigación y potenciales consecuencias sanitarias de la peste porcina africana en México	6
Dirofilariosis una Zoonosis Emergente.....	20
Enfermedades bacterianas emergentes en peces de México.....	29
Generación de un modelo de capacidad de carga para el venado cola blanca (<i>Odocoileus virginianus</i>)	43
Evaluación de interelucinas pro y antiinflamatorias en glándula mamaria de cabras infectadas experimentalmente con <i>Staphylococcus chromogenes</i>	55
Transdisciplinariedad en investigación avanza la medicina veterinaria y zootecnia.....	61
Estudio de las infecciones lentivirales en ovinos y caprinos en México	76
Conducta materna y producción en ovinos	85
Efecto del zinc orgánico en el comportamiento productivo, calidad de carne, perfil de ácidos grasos y expresión de genes asociados con el metabolismo de lípidos en ovinos y bovinos en engorde intensivo.....	95
Aproximación al control del murciélago hematófago <i>Desmodus rotundus</i> desde un enfoque ecológico	109
Empleo de modelos animales en patologías del aparato digestivo.....	119
Microvesículas (MVs) bacterianas, potentes biológicos acelulares de uso y aplicación en la Medicina Veterinaria	130
El impacto de los residuos y de la resistencia a los antimicrobianos en la sanidad animal.	142
Investigación y desarrollo de una vacuna contra la babesiosis bovina.....	153
La metagenómica como herramienta en salud animal	162
Bienestar animal y calidad e inocuidad de productos para consumo humano	168
Hernioplastia umbilical en bovinos mediante el uso de material protésico (malla de polipropileno)	182
Relevancia de la función del médico veterinario zootecnista autorizado en empresas industriales y comerciales	191
Evolución de la investigación sobre el Síndrome ascítico en el pollo de engorda.....	199

Análisis de la sostenibilidad de unidades de producción de doble propósito en trópico seco ...	210
Propionato de calcio en la respuesta productiva y calidad de carne de conejo	221
Microbiología diagnóstica en organismos acuáticos y aves silvestres	230

Evaluación de riesgo de introducción, exposición, mitigación y potenciales consecuencias sanitarias de la peste porcina africana en México

Assad Heneidi Zeckua

Correo electrónico: aheneidi@gmail.com

Trabajo presentado en la

Sesión Solemne de Ingreso del

22 de marzo de 2022

RESUMEN

El presente análisis de riesgo se realizó con la finalidad de fortalecer técnica y científicamente, la toma de decisiones en la vigilancia, importación, producción y comercialización de cerdos, sus productos y subproductos, basadas en la identificación y evaluación de los principales factores de riesgo sanitario que pueden favorecer la introducción, liberación, establecimiento y diseminación del virus de la Peste Porcina Africana, así como contar con herramientas generales que permitan gestionar el riesgo sanitario para prevenir y mitigar el ingreso al país de esta enfermedad. En dicho análisis, se consideró el mantenimiento del nivel apropiado de protección para la porcicultura nacional, mediante la identificación de las principales medidas de mitigación, conforme a los factores de riesgo identificados en el estudio, que permitan ofrecer un riesgo insignificante en materia sanitaria y ambiental.

El análisis de riesgo, utilizó la metodología establecida por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), proporcionando una visión general de los factores de riesgo del comercio, las diferentes vías de ingreso y exposición, mecanismos de transmisión, árboles de escenarios y medidas de mitigación, entre otros. La evaluación del riesgo, permitió la identificación de vías de ingreso y exposición del patógeno, sin embargo, la información cuantitativa sobre las vías informales de introducción de enfermedades, sigue siendo muy escasa y a menudo incompleta, lo que dificulta estimar las magnitudes reales de los riesgos sanitarios. No obstante, esta información cualitativa y cuantitativa, se considera esencial para establecer adecuados programas de concienciación, prevención y vigilancia epidemiológica basada en el riesgo sanitario que correspondan a la realidad de nuestro país.

Palabras clave: Peste Porcina Africana, análisis de riesgo, epidemiología.

Introducción

El propósito del presente análisis fue identificar los diferentes escenarios epidemiológicos y factores de riesgo, que puede representar la introducción, establecimiento y diseminación del virus de la Peste Porcina Africana (PPA) en la porcicultura de México.

Actualmente, la PPA se encuentra diseminada en los cinco continentes con diversos grados de incidencia y afectación de países, y es una enfermedad viral de los cerdos, endémica en algunos países africanos, asiáticos, europeos (14, 17) y más recientemente afectó Oceanía y República Dominicana en el Continente Americano. El virus de la Peste Porcina Africana (vPPA), es altamente contagioso y puede propagarse muy rápidamente en las poblaciones de cerdos por contacto directo o indirecto y persistir durante períodos prolongados en productos porcinos y en el medioambiente (1, 5, 6, 7). Puede convertirse en endémico en suinos salvajes o cimarrones, así como en garrapatas del género *Ornithodoros* (2). La virulencia de las cepas del vPPA puede variar desde cepas altamente virulentas, que causan cerca del 100% de mortalidad hasta cepas de baja virulencia, que pueden ser difíciles de diagnosticar (3, 5, 6, 8, 13). Hasta el momento del presente análisis, no existen vacunas comerciales ni tratamientos para el control de esta enfermedad (10).

La PPA es un problema sanitario y económico grave en muchos países africanos. Los brotes de la enfermedad también han ocurrido en Europa, Asia, Oceanía, América del Sur y el Caribe, y el costo de la erradicación puede ser considerable. Durante los brotes ocurridos en

Malta y en República Dominicana (1978), las piaras de cerdos de estos países se extinguieron completamente, como una medida de control sanitario. En España y Portugal, la PPA se convirtió en endémica en la década de los 60's del siglo pasado y su erradicación completa, llevó más de 30 años (18). Los cambios en las prácticas de producción y la globalización han incrementado el riesgo sanitario de introducir la PPA en el Continente Americano (4), lo cual desafortunadamente ocurrió en julio de 2021 en la República Dominicana y posteriormente se detectó en Haití.

Ante esta situación sanitaria, es necesario realizar el análisis epidemiológico mediante modelos de simulación tanto epidemiológica como matemática, así como de análisis de riesgo, que permitan evaluar los diferentes escenarios epidemiológicos y los factores de riesgo (4, 9, 11, 12, 15, 16 y 17) a los cuales está potencialmente expuesta la porcicultura mexicana para la introducción/liberación, establecimiento y diseminación del vPPA.

De acuerdo con la OIE, el número de focos, casos y pérdidas causadas por la PPA desde enero de 2022 asciende a un total de 4738 focos en cerdos domésticos, de los cuales el 70.4% se han registrado en Europa, el 21.9% en Asia y ya el 4.4% en América, mientras que en jabalíes el 91.4% de los focos han ocurrido en Europa y el 8.6% en Asia. En cuanto a las pérdidas que incluyen animales muertos por la enfermedad y animales sacrificados y dispuestos sanitariamente (no incluye animales sacrificados en el área perifocal para el control de la enfermedad), el 74.4% corresponden a Europa, el 23.5% a Asia y el 0.88% a América.

Por lo anterior, es necesario elaborar los análisis de riesgo, que permitan identificar los diversos escenarios y factores de riesgo potenciales para el ingreso del vPPA a México y, por ende, sus medidas de mitigación (4, 9, 10, 11, 12 y 16).

Metodología

Comprender la epidemiología de la enfermedad de manera específica en la región o país de interés, es determinante para identificar los factores de riesgo potencialmente involucrados y establecer las medidas de mitigación adecuadas para cada escenario reconocido, que permitan tanto su prevención como su control y erradicación, según sea el caso. Cada región o país representa un caso diferente, por lo que el análisis de riesgo debe enfocarse a un determinado país o región, así como a una determinada mercancía porcina (animales, productos y subproductos) en sus diferentes escenarios, que permitan identificar sus factores de riesgo y sus adecuadas medidas de mitigación, siempre considerando un riesgo aceptable para la porcicultura por los servicios veterinarios oficiales (10).

El análisis de riesgo es una herramienta que permite evaluar la probabilidad de entrada, liberación, establecimiento y diseminación de enfermedades y plagas, o de contaminación de los bienes de origen animal, así como las consecuencias biológicas, ambientales, económicas, comerciales, sociales, políticas y de salud pública, que pueden ocasionar (4, 9, 10, 11, 12 y 16).

A través del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), se realizó un análisis de riesgo sobre PPA para los países que conforman la Región del OIRSA (incluyendo a México, Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana) basado en los lineamientos internacionales establecidos por la Organización Mundial de Comercio (OMC) y en especial por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y constó de cuatro etapas: a) Identificación del peligro, b) Evaluación del riesgo, c) Manejo del riesgo y d) Comunicación del riesgo (10).

El desarrollo del modelo epidemiológico sirvió de base para el modelo matemático de este análisis de riesgo y para su posterior simulación mediante un proceso estocástico. Se utilizó el modelo Monte Carlo, con 10,000 iteraciones y el muestreo Latino Hipercúbico, mediante el uso del programa @Risk Análisis de Riesgos, considerando diversas variables epidemiológicas conforme a diversos escenarios y factores de riesgo (10, 12).

Resultados

El análisis de riesgo fue de tipo semicuantitativo, mediante la asignación de valores numéricos, científicamente validados a las variables identificadas en el árbol de escenarios propuesto para el modelo epidemiológico y matemático, considerando en sus componentes y la incertidumbre, que proporcionó la variabilidad en los resultados obtenidos. Se elaboró el árbol de escenarios, mediante la descripción gráfica del proceso

epidemiológico, a partir de un evento inicial y la secuencia de eventos biológicos, que pueden conducir a la ocurrencia de un evento sanitario indeseable. El desarrollo del árbol de escenarios, permitió descomponer en sus partes al evento biológico y describirlo gráficamente, considerando la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso (brote) en la naturaleza, conforme al análisis de la triada epidemiológica, la historia natural de la enfermedad y la cadena epidemiológica del peligro identificado, recopilando la evidencia técnica y científica, que permitió definir la magnitud del riesgo, que representa o pueda

representar el vPPA para cada parámetro de manera cuantitativa identificando que la introducción del vPPA a México, podría ocurrir mediante la importación de cerdos vivos (incluidos semen y embriones), importación de productos y/o subproductos de origen porcino contaminados, importaciones turísticas de productos y subproductos de origen porcino contaminadas y no detectadas en puertos marítimos, aeropuertos y fronteras terrestres, así como por diseminación mediante migraciones de cerdos silvestres o ferales infectados y por actividades de bioterrorismo (Diagrama 1).

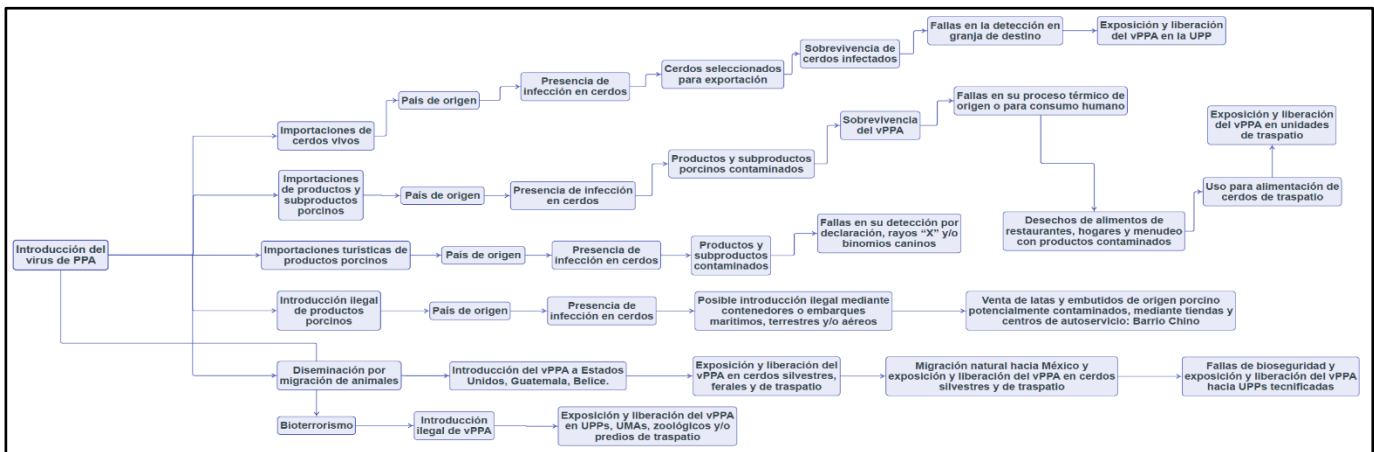


Diagrama 1. Árbol de escenarios sobre la probabilidad de ingreso, liberación, establecimiento y diseminación del virus de la Peste Porcina Africana en México y Región del OIRSA.

Dentro del modelo epidemiológico y matemático, descrito anteriormente en el árbol de escenarios, se consideró una serie de factores de riesgo biológico, que incluyen la facilidad con la cual el agente patógeno e infeccioso (peligro identificado) pueda transmitirse y sobrevivir en el medio ambiente y en el hospedero (cerdos domésticos y silvestres), los mecanismos de diseminación, la

vía de ingreso al hospedero, el tiempo transcurrido desde la exposición en la población susceptible al vPPA hasta el inicio de los signos clínicos (conforme a la virulencia de la cepa involucrada en el brote), el tipo de tropismo causado por el agente patógeno, su inmunogenicidad, variabilidad, patogenicidad y la virulencia, entre otras variables de dicho agente, así como por otros factores extrínsecos

como su detección precoz y atención inmediata y efectiva del brote, por parte de las autoridades sanitarias y productores, entre otros.

La etapa de la evaluación del riesgo consistió en determinar la probabilidad epidemiológica y matemática de introducción del vPPA, la probabilidad de que las especies de interés resulten expuestas al vPPA una vez introducido, y las posibles consecuencias sanitarias, ocasionadas por la exposición, si ésta llegara a ocurrir.

Se establecieron las posibles fuentes de origen del vPPA, mediante una red de causalidad de factores de riesgo para la introducción, liberación y exposición del vPPA, mediante:

- a. La importación de animales vivos, semen y embriones infectados
- b. La importación legal o introducción ilegal de productos y subproductos de origen porcino

contaminados con el vPPA a través de puertos marítimos, aeropuertos y fronteras).

Por lo anterior, se diseñó la red de causalidad, la cual presume que la mayor probabilidad de introducción, liberación y exposición del vPPA, con la situación actual de la PPA a nivel mundial y las condiciones de restricción de importaciones legales, el virus podría ingresar mediante alguna mercancía porcina infectada (cerdos, semen y embriones) o contaminada (productos o subproductos de origen porcino) procedente de algún país afectado por la PPA principalmente en el Continente Asiático o Europeo, y recientemente de alguna mercancía de origen porcino procedente de algún país de la región del Caribe donde pueda existir la PPA (Diagrama 2).

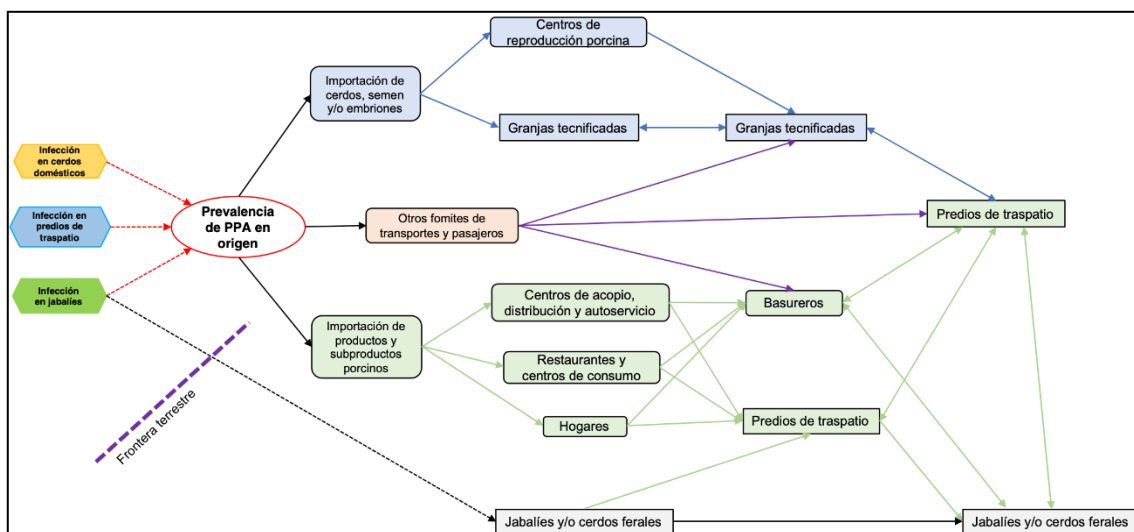


Diagrama 2. Red de causalidad del vPPA procedente de cerdos domésticos comerciales, cerdos de traspatio y/o jabalíes infectados, mediante importaciones o introducciones de cerdos, sus productos y sus subproductos y su posterior diseminación conforme a los factores de riesgo identificados.

Conforme a la elaboración del modelo epidemiológico y matemático, que permitió

diseñar el modelo de simulación estocástica, la estimación del riesgo final sobre la

probabilidad de liberación y exposición del vPPA en al menos una piara de cerdos domésticos, se estimó conforme a la fórmula siguiente: $1-(1-X)^Z$, que incluyeron entre otras variables las probabilidades de prevalencias de la PPA esperadas en el origen de los cerdos infectados, así como de sus productos y subproductos contaminados, la sobrevivencia del vPPA, las fallas en su detección en puertos, aeropuertos y fronteras, la probabilidad del uso de desechos de comidas contaminadas en la

alimentación de algunas poblaciones de cerdos (con al menos una dosis infectante del vPPA y considerando la cantidad probable de ingreso de productos y subproductos de origen porcino contaminados y no detectados en puertos y aeropuertos), principalmente de traspatio y que estos se infecten y la enfermedad no sea detectada oportunamente y se disemine a otras poblaciones susceptibles e incluso a cerdos comerciales y silvestres (Diagrama 3).

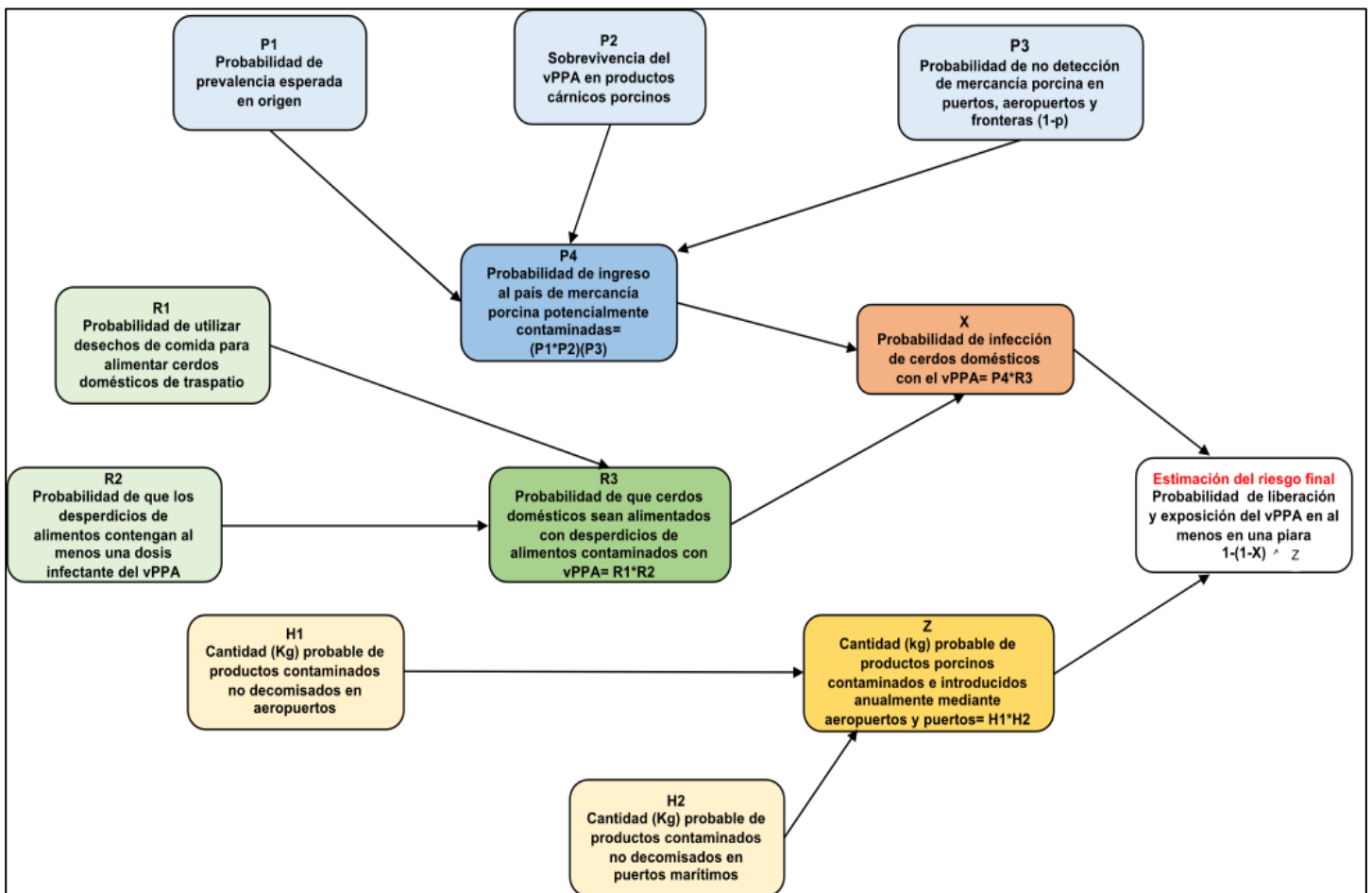


Diagrama 3. Modelo epidemiológico y matemático para la simulación de la probabilidad de ingreso, liberación, establecimiento y diseminación del virus de la Peste Porcina Africana en México.

Los resultados cuantitativos del análisis de riesgo identificados en 2019, señalaban una probabilidad de que al menos una piara de

cerdos en algún país de la Región del OIRSA (preferentemente de traspatio), estuviera expuesta anualmente con el vPPA por contacto

directo o indirecto con productos o subproductos de origen porcino comercial o silvestre contaminados y su posterior diseminación a cerdos comerciales y/o silvestres, independientemente del papel epidemiológico que pudiera jugar las garrapatas del género *Ornithodoros* (Diagrama

4). Desafortunadamente, dicha probabilidad se presentó en la República Dominicana en julio de 2021, aunque se presume que la infección ya existía probablemente algunos meses antes de detectarla oficialmente, ya que pudo haber sido confundida con la fiebre porcina clásica, la cual es endémica en ese país.

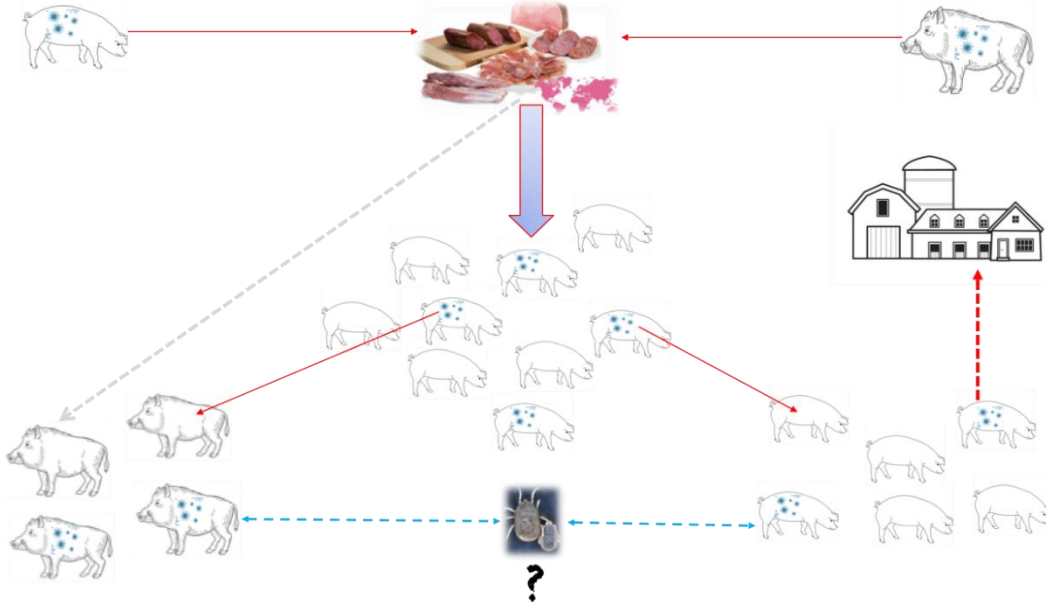


Diagrama 4. Modelo epidemiológico sobre la probabilidad de ingreso, liberación, establecimiento y diseminación del virus de la Peste Porcina Africana en México, mediante productos y subproductos porcinos contaminados.

Respecto a los tiempos de sobrevivencia del vPPA en productos y subproductos de origen porcino, así como en instalaciones y desechos, se estima que puede oscilar desde 30 días en carne ahumada y deshuesada hasta 1000 días en carne congelada, mientras que 11 días en

heces a temperatura ambiente, 30 días en corrales y en despojos y sangre putrefacta hasta 105 días (Cuadro 1). El virus puede ser destruido en carne cocida, siempre y cuando, ésta haya sido sometida al menos durante 30 minutos a 70°C.

<i>Variable</i>	<i>Tiempo de sobrevivencia del vPPA (días)</i>
Carne con y sin hueso, y carne molida	105
Carne salada	182
Carne cocida (mínimo 30' a 70° C)	0
Carne seca	300
Carne ahumada y deshuesada	30
Carne congelada	1000
Carne refrigerada	110
Despojos	105
Piel/grasa (incluso seca)	300
Sangre almacenada a 4°C	540
Heces a temperatura ambiente	11
Sangre putrefacta	105
Corrales contaminados	30

Cuadro 1. Tiempos de sobrevivencia del vPPA en productos y subproductos de origen porcina, así como en instalaciones y desechos.

En términos generales el vPPA podría ingresar, liberarse, diseminarse y exponerse a la población susceptible, conformada principalmente por cerdos de traspatio y comerciales, así como en algunos casos jabalíes. Los principales factores de riesgo y sus vías de diseminación lo representarían las siguientes variables:

- Importación de cerdos vivos infectados
- Importación de productos y subproductos de origen porcino contaminados
- Importaciones turísticas de productos porcinos contaminados no detectadas
- Introducción ilegal de productos y subproductos de origen porcino contaminados

- Diseminación por migración natural de cerdos ferales y jabalíes procedentes de países afectados y con límites fronterizos

- Bioterrorismo utilizando mercancías de origen porcino o cepas virales para su exposición a cerdos comerciales, de traspatio, cerdos ferales y jabalíes, cuando existan estos últimos.

Conforme al riesgo que representan las importaciones legales e introducciones ilegales de mercancías porcinas, se identificó un mayor riesgo en productos y subproductos de origen porcino que en reproductores, semen y embriones, y una mayor probabilidad de introducción del vPPA procedente de países europeos afectados por la PPA que de países asiáticos (Cuadro 2).

Continente	Importaciones de reproductores, semen y embriones	Importación de productos y subproductos porcinos y sus derivados
Africano	Insignificante	Insignificante
Asiático	Insignificante	Bajo
Europeo*	Ligero	Moderado
Americano**	Moderado	Moderado-Alto

Cuadro 2. Riesgo sanitario de introducción de la PPA a México mediante mercancías porcinas importadas legalmente, según su origen y procedencia.

*De afectarse la porcicultura doméstica de los países de Europa central (España, Francia, Italia, Reino Unido, Bélgica, Holanda, Dinamarca, Alemania, Suiza, Grecia, etc.), el riesgo identificado se incrementaría sustancialmente.

**En caso de afectación de la porcicultura doméstica con el vPPA en Estados Unidos, Canadá y Brasil, entre otros.

Los principales tipos de mercancía porcina, básicamente se centran en cerdos reproductores y semen, mientras que los productos y subproductos de origen porcino, corresponden a carne de cerdo en varias categorías (fresca, congelada, ahumada, salada, cocida, deshuesada, etc.) y diversos tipos de productos y subproductos de origen cárnico o que contengan una porción de estos (salami, chorizo, longaniza, salchichas, tocino, jamón, butifarra, morcilla, hueso, grasa y piel, entre otros).

Los riesgos sanitarios estarán ligados a importaciones legales e ilegales. Las primeras, están sujetas a los requisitos sanitarios oficiales para la importación de mercancías porcinas dependiendo de su tipo y origen/procedencia, sin embargo, una de las principales vías de ingreso de mercancías ilegales, lo representan las importaciones turísticas no autorizadas y sobre todo aquellas no identificadas. De acuerdo al Análisis de riesgo sobre virus de la Peste Porcina Africana en la porcicultura de los países de la región OIRSA, se estimó que el 5.2% de los decomisos agropecuarios decomisados en importaciones turísticas, corresponden a productos de origen animal, de

los cuales en promedio el 18.9% corresponde a productos de origen porcino. El promedio de decomisos realizados en los pasajeros inspeccionados se estima en 0.2%, con un rango de 0.15 a 0.22%. En México, el 3.21% de los decomisos totales de productos de origen porcino ha procedido de países europeos y el 0.81% de países asiáticos, lo que en su conjunto representa probabilísticamente, un riesgo potencial de al menos el 4% de introducir mercancías porcinas de países afectados por la peste porcina africana como de moderado o alto riesgo.

La estimación del impacto sanitario atribuible al vPPA en la porcicultura mexicana, se puede estimar utilizando el siguiente modelo epidemiológico de brotes, conforme al Modelo SIR (Susceptible-Infectado-Recuperado/muerto), el cual dependiendo de los valores matemáticos asignados, podrá identificar el número esperado de animales infectados, enfermos, recuperados y muertos, conforme a diversas variables epidemiológicas como la tasa de transmisión, virulencia de la cepa, tasa de recuperación, medidas contraepidémicas aplicadas considerando su oportunidad de aplicación y duración de las

actividades de control y contención por parte de los servicios veterinarios oficiales entre otras (Diagrama 5).

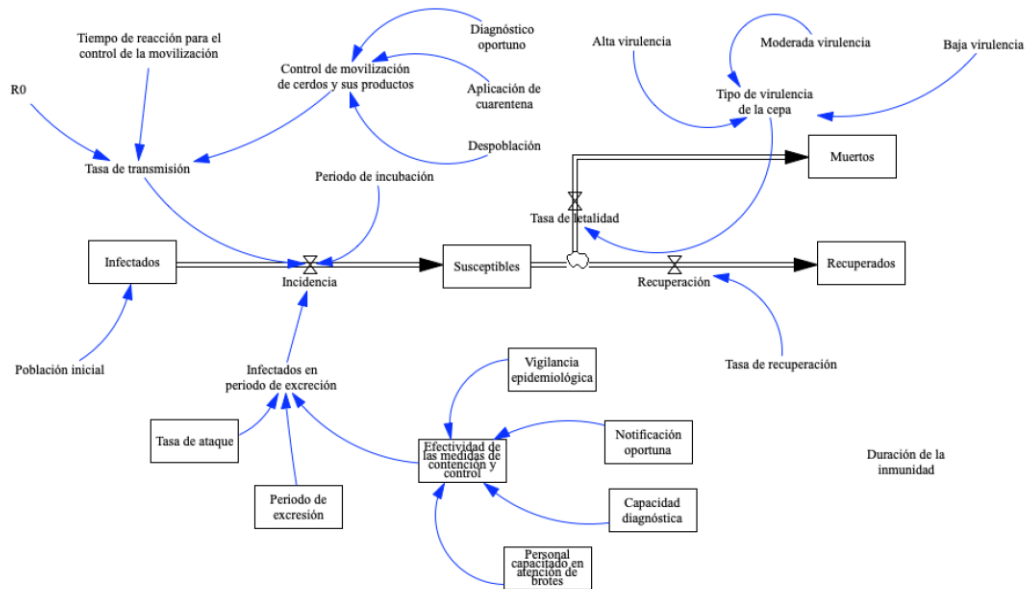


Diagrama 5. Estimación del proceso epidémico una vez ingresado el vPPA en la porcicultura doméstica.

Discusión y conclusiones

De acuerdo a los tipos de importaciones (cerdos para reproducción, semen, productos y subproductos de origen porcino o que contengan una parte de estos), países de origen y procedencia de las importaciones de origen porcino, las actividades de vigilancia en puertos y aeropuertos, las detecciones y decomisos de mercancías de origen animal, especialmente de origen porcino y su disposición sanitaria, así como el riesgo del ingreso ilegal de mercancías porcinas, entre otros, es probable que al menos una piara (principalmente de cerdos de traspatio) pudiera exponerse anualmente al vPPA, bajo los parámetros analizados.

Se puede asumir, que dependiendo del destino de la mercancía porcina infectada o contaminada, los brotes de PPA ocurrirían en granjas tecnificadas o en predios de traspatio y

en cerdos silvestres. Posteriormente, dependiendo del brote primario, los subsiguientes brotes ocurrirían tanto en unidades tecnificadas como predios de traspatio. Es probable que la intervención epidemiológica que tuviera la garrapata del género *Ornithodoros*, sea poco significativa, sin embargo, dependerá de su dinámica de población, densidad animal y exposición a animales infectados durante periodos virémicos.

El impacto sanitario, económico, comercial, social, cultural y político esperado en México, dependerá en gran medida del tipo de virulencia de la cepa viral introducida al país, así como a la ocurrencia del brote primario en relación con densidad poblacional de cerdos infectados y de unidades de producción afectadas, así como de sus sistemas de

producción y comercialización, sin embargo, uno de los mayores retos epidemiológicos, dependerán del tiempo en su detección y confirmación, así como el tipo, calidad y tiempo de respuesta oficial y de productores ante la epidemia. Adicionalmente, será determinante en el control del brote, la capacitación técnica que posea el personal involucrado, base legal vigente, infraestructura diagnóstica (e insumos requeridos), humana, de recursos materiales y financieros para enfrentar la contingencia sanitaria, mediante una “detección precoz y una atención inmediata”.

Cualquier cambio en la situación sanitaria de la PPA a nivel mundial, especialmente en los países de Europa y América, aun no afectados y con los cuales México mantiene una amplia relación comercial o modificaciones en las restricciones sanitarias en países afectados, modificaría los resultados obtenidos en el presente estudio.

Entre las principales medidas de mitigación identificadas en el presente análisis de riesgo para prevenir o reducir la probabilidad del ingreso/liberación y establecimiento del vPPA en la porcicultura mexicana o una parte de ella, así como de sus consecuencias sanitarias, económicas, comerciales, sociales y políticas, destacan las siguientes:

- Considerar que la bioseguridad integral, es un concepto que también se debe aplicar a nivel nacional, previniendo el ingreso/liberación y establecimiento del vPPA, mediante estrictas políticas sanitarias, científicamente demostrables para la importación segura de mercancías porcinas de alto riesgo (animales,

semen, productos y subproductos, otros insumos, etc.), que permitan mantener el Nivel de Riesgo Aceptable para la porcicultura mexicana.

- Establecer los requisitos de importación, basados en fundamentos técnicos y científicos, conforme al país de origen y procedencia, tipo y condiciones de la mercancía importada, punto de ingreso, destino y uso de la mercancía porcina en el país, considerando que el tipo de mercancía porcina introducida legal o ilegalmente al país puede representar diferentes riesgos en diferentes zonas ecológicas y productoras del país.

- Establecer un procedimiento de cuarentena y muestreo, en el caso de la importación de cerdos reproductores, previo a su liberación.

- Realizar actividades de inspección y supervisión del ingreso de importaciones turísticas, con un nivel de confianza al menos del 95%, utilizando preferentemente las declaraciones de pasajeros, uso de rayos “X” y binomios caninos, incluyendo vuelos privados.

- Contar con un sistema adecuado de disposición de basura y decomisos en aeropuertos, puertos marítimos y fronteras terrestres, mediante incineradores oficiales, evitando preferentemente el uso de empresas particulares, sin supervisión oficial constante y auditable.

- Evaluar la efectividad real del uso de tapetes sanitarios y desinfectantes químicos utilizados en aeropuertos y puertos. En el caso de utilizarse, evaluar la efectividad de la inactivación o destrucción del vPPA en

presencia de materia orgánica y en diversos tipos de suelas de zapatos o botas.

- Diseñar e implementar programas de vigilancia epidemiológica basada en riesgo, empleando pruebas serológicas, así como virológicas y/o de biología molecular (incluyendo secuenciación genética), mediante diseños muestrales probabilísticos, sin sesgo significativo, incluyendo la detección de síndromes de enfermedades rojas del cerdo.

- Establecer programas de inspección y verificación de mercancías porcinas de alto riesgo, con posible ingreso ilegal al país para su venta y comercialización (tiendas y centros de autoservicio de productos de alto riesgo, ventas en línea, etc.).

- Elaborar una “Guía Rápida de Vigilancia e Investigación Epidemiológica de la PPA”, sustentada científicamente, que armonice los criterios técnicos tanto del personal sanitario oficial como de técnicos agropecuarios, Ingenieros Agrónomos y Médicos Veterinarios oficiales y en ejercicio libre de la profesión, que estén vinculados con la producción y comercialización de mercancías porcinas, previa capacitación a nivel nacional.

- Establecer un sistema de inteligencia epidemiológica específica para la PPA, basada en indicadores y en eventos, que permita realizar análisis epidemiológicos rápidos de la información técnica obtenida para la toma oportuna de decisiones sanitarias.

- Contar con un Plan de Emergencia, con soporte científico y estratégico de diagnóstico y de las medidas preventivas y control a aplicar, incluyendo la detección temprana y la atención

oportuna, tanto de los servicios veterinarios oficiales como de los técnicos y profesionales vinculados, productores, industrializadores y comercializadores, conforme a las actividades de inteligencia epidemiológica, que permitan disminuir el riesgo de introducción, liberación y establecimiento del vPPA, y en su caso la contención y erradicación del vPPA.

- Elaborar los lineamientos oficiales sobre medidas mínimas de bioseguridad, con las que deberán contar las granjas tecnificadas y semitecnificadas para su operación, que permitan disminuir el riesgo de ingreso de agentes patógenos prioritarios en la porcicultura mexicana como la peste porcina africana, la fiebre porcina clásica y la enfermedad de Aujeszky, que reduzcan la probabilidad de ingreso de estos agentes etiológicos y en su caso, contar con las herramientas que permitan la adecuada identificación, contención y destrucción del agente etiológico dentro de la o las unidades de producción afectadas y expuestas.

- Evaluar la implementación de un fondo de contingencia oficial o bipartita (gobierno federal y productores) para enfermedades transfronterizas.

- Establecer una “Ruta de inteligencia epidemiológica basada en riesgo” para la detección temprana y atención oportuna del vPPA en caso de contingencia sanitaria, identificando entre otras variables: actividades de reacción ante una sospecha o confirmación de un brote de PPA capacitación de personal oficial y de campo en el diagnóstico clínico de la enfermedad y síndromes de enfermedades

rojas del cerdo vigilancia y periodicidad del muestreo de mercancías porcinas y unidades de producción de alto riesgo laboratorio (s) de diagnóstico de apoyo e implementación de las técnicas de diagnóstico serológicas, moleculares y virológicas a utilizar toma, conservación y envío de muestras al laboratorio designado presupuesto asignado ante una emergencia o partidas presupuestales disponibles en caso de contingencia sanitaria posibles fondos de indemnización fortalecimiento de la bioseguridad en unidades de producción, principalmente en zonas de alto riesgo de introducción del vPPA

concientización y cooperación técnica y operativa entre el gobierno federal, estatal y municipal, así como los productores e industrializadores/comercializadores de cerdos, sus productos y subproductos análisis epidemiológicos de posibles rutas de diseminación y establecimiento de la enfermedad, basados en riesgo regulación interna de la movilización de mercancías porcinas de alto riesgo (cerdos vivos, semen, embriones, productos y subproductos cárnicos crudos o sometidos a procesos industriales que no garanticen la destrucción del vPPA, vehículos y equipo contaminado, etc.), mediante el uso del aviso de movilización a nivel nacional, que permitan la trazabilidad y las investigaciones epidemiológicas tanto retrospectivas como prospectivas supervisión constante de los resultados obtenidos de las estrategias implementadas y rectificación y en su caso modificación de las estrategias adoptadas.

Agradecimientos

Al Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), por haber depositado su confianza para desarrollar el presente análisis de riesgo.

Referencias

1. Blome S, Gabriel C, Beer M. (2013). Pathogenesis of African swine fever in domestic pigs and European wild boar. *Virus Res* 173:122–30. doi:10.1016/j.virusres.2012.10.026
2. Burrage TG. (2013). African swine fever virus infection in *Ornithodoros* ticks. *Virus Res* 173:131–9. doi:10.1016/j.virusres.2012.10.010
3. Davies, K., Goatley, L. C., Guinat, C., Netherton, C. L., Gubbins, S., Dixon, L. K. & Reis, A. L. (2015). Survival of African swine fever virus in excretions from pigs experimentally infected with the Georgia 2007/1 isolate. *Transboundary and Emerging Diseases* doi: 10.1111/tbed.12381
4. Farez, S. & Morley, R. S. (1993). Potential animal health hazard of pork and pork products. *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.*, 16 (1), 65-78.
5. Gallardo, C., Soler, A., Nieto, R., Sánchez, M. A., Martins, C., Pelayo, V. & Others (2015b). Experimental transmission of African swine fever (ASF) low virulent isolate NH/P68 by surviving pigs. *Transboundary and Emerging Diseases* doi:10.1111/tbed.12431
6. Guinat, C., Reis, A., Netherton, C., Goatley, L., Pfeiffer, D. & Dixon, L. (2014). Dynamics of African swine fever virus shedding and

- excretion in domestic pigs infected by intramuscular inoculation and contact transmission. *Veterinary Research* 45, 93
7. Guinat Claire, Gogin Andrey, Blome Sandra, Keil Guenther, Pollin Reiko, Pfeiffer Dirk U., Dixon Linda. (2016). Transmission routes of African swine fever virus to domestic pigs: current knowledge and future research directions. *Veterinary Record* 178, 262-267 doi: 10.1136/vr.103593
 8. Iowa State University. (2010) The Center for Food Security and Public Health. Peste Porcina Africana.
 9. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). (1999). Análisis de Riesgo. Guía Práctica. Grupo Ad-Hoc sobre análisis de riesgo. Comisión Regional de la OIE para las Américas.
 10. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) (2020). Análisis de riesgo sobre virus de la Peste Porcina Africana en la porcicultura de los países de la región OIRSA. San Salvador, El Salvador. No de páginas: 230 Primera edición, junio 2020 www.oirsa.org
 11. Organización Mundial de Comercio (OMC). (2018). Serie de Acuerdos de la OMC. Medidas Sanitarias y Fitosanitarias.
 12. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2004). Handbook on import risk analysis for animals and animals products. Volume 2. Quantitative risk assessment.
 13. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2012). Manual de Pruebas Diagnósticas y Vacunas para Animales Terrestres.
 14. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2018). African Swine Fever (ASF). Report N°1: 2016 – 2018 (04/10/2018) World Animal Health Information Department.
 15. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2019). Ficha técnica: African Swine Fever.
 16. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2019). Código Sanitario de Animales Terrestres. Volumen 1. Título 2. Análisis de Riesgo.
 17. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2020). Impact of ASF by region based on the information submitted through the Early Warning System (2016-2020).
 18. Sanchez-Vizcaino. J.M., Mur, L., y Martínez-López, B. (2012). African Swine Fever: An Epidemiological Update. REVIEW ARTICLE. *Transboundary and Emerging Diseases*. 59 (Suppl. 1) 27–35.

Dirofilariosis una Zoonosis Emergente

José Alberto Montoya-Alonso

Correo electrónico:
alberto.montoya@ulpgc.es

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
31 de mayo de 2022**

RESUMEN

La dirofilariosis es una enfermedad parasitaria producida por nematodos del género *Dirofilaria*. Las especies implicadas en la infestación humana son mayoritariamente *D. immitis* y *D. repens*, que produce respectivamente la dirofilariosis pulmonar y la dirofilariosis subcutánea y ocular humanas, aunque esta clasificación está siendo cuestionada por los hallazgos clínicos.

Es una enfermedad cosmopolita pero la epidemiología de la dirofilariosis está sufriendo cambios importantes como consecuencia de la alteración de los parámetros climáticos típicos mundiales y de las diversas intervenciones antropogénicas que afectan a los vectores, las mascotas y el medio ambiente. Estos cambios y la aparición de nuevas especies de vectores parecen estar favoreciendo la expansión e introducción de la enfermedad que está considerada por las autoridades sanitarias como una zoonosis parasitaria emergente.

Por ello, es necesario ampliar la información de la parasitosis, abordarla desde la perspectiva One Health y elaborar unos protocolos clínicos consensuados, claros y homogéneos.

Palabras clave: Dirofilariosis humana, *Dirofilaria immitis*, *Dirofilaria repens*, zoonosis, diagnóstico, tratamiento.

Introducción.

La dirofilariosis es una enfermedad parasitaria producida por nematodos del género *Dirofilaria*; fundamentalmente las especies *Dirofilaria immitis* y *Dirofilaria repens*.

Estos parásitos afectan principalmente al perro, como hospedador definitivo y reservorio, pudiendo afectar a otros animales domésticos como el gato y el hurón. Además, se ha descrito su presencia en cánidos y félidos salvajes. El hombre también puede ser afectado por lo que se considera una zoonosis (1).

Se trata de una enfermedad de ciclo indirecto por transmisión vectorial. Los hospedadores intermediarios son mosquitos pertenecientes a los géneros *Culex*, *Aedes*, *Anopheles*, *Culiseta* o *Coquillettidia*.

Las filarias hembras adultas liberan a las microfilarias en sangre periférica, de forma que el mosquito se infecta cuando toma sangre de un animal con microfilarias circulantes.

Su curso es progresivo y potencialmente letal en los animales, agravado por el hecho de que sus primeras fases son asintomáticas. La gravedad del proceso está influenciada por el número de parásitos adultos, la duración de la infección y la respuesta inmune del hospedador frente al parásito (2).

Las especies implicadas en la infestación humana son mayoritariamente *D. immitis* y *D. repens*, que produce respectivamente la dirofilariosis pulmonar y la dirofilariosis subcutánea y ocular humanas, aunque esta clasificación está siendo cuestionada pues se están describiendo casos con presencia en nuevas localizaciones.

En áreas de infestación canina se producen frecuentes contactos de las personas residentes con las especies de *Dirofilaria*, pero sólo una pequeña parte de éstas desarrollan enfermedad. La primera descripción de la enfermedad humana se produjo en Italia en 1885 (3).

Ciclo biológico

El hombre se infecta de la misma manera que los reservorios animales, por la picadura de un mosquito culícido infectado con larvas de tercer estadio (L3).

Ni *D. immitis* ni *D. repens* completan, por lo general, su desarrollo en el hospedador humano. Es probable que en muchos casos las L3 o las L4 sean destruidas por el sistema inmune del hombre. Si esto no ocurre, los parásitos alcanzan el estado de preadultos, que en el caso de *D. immitis* se aloja en una rama de pequeño calibre de la arteria pulmonar y en el de *D. repens* en el tejido subcutáneo o en la región ocular, donde causan las lesiones típicas de la dirofilariosis humana. Al no completar su desarrollo, los vermes no pueden producir microfilarias, por lo que el hombre no es un hospedador relevante desde el punto de vista de la transmisión de la enfermedad (4).

Distribución

La dirofilariosis es una enfermedad cosmopolita. Existen numerosos países endémicos en zonas templadas, semitropicales y tropicales de todo el mundo donde proliferan los mosquitos que actúan como vectores. Además, en los últimos años se ha constatado su expansión desde zonas endémicas a zonas

previamente consideradas libres de la enfermedad. Esto probablemente se debe al incremento de las temperaturas debido al cambio climático, la formación de nuevas zonas de cultivo, la urbanización de nuevas áreas en las que se crea microclimas adecuados para el mantenimiento de los insectos transmisores, la introducción de nuevas especies de mosquitos potencialmente transmisores en zonas donde no existían previamente, y el aumento del libre transporte y comercio de animales reservorios de la enfermedad. Por ello, la enfermedad está considerada por las autoridades sanitarias como una zoonosis parasitaria emergente (5,6). La mayor parte de los casos humanos de *D. immitis* se han descrito en América, Australia y Japón. En Europa, Asia (excepto Japón) y África, los agentes causantes de la dirofilariosis humana son *D. repens* y en mucha menor medida *D. immitis*.

La revisión retrospectiva de casos publicados ofrece sólo una visión parcial de la dirofilariosis humana, ya que en áreas endémicas donde existen vectores con hábitos zoo- antropofílicos las infecciones humanas deben ser mucho más frecuentes que lo que indica el número de casos recogidos en la literatura. Sin embargo, los síntomas en pacientes con dirofilariosis, especialmente en su variante pulmonar, pasan muchas veces desapercibidos o son atribuidos por los médicos a otras dolencias (3).

Un hecho significativo es el gran incremento de casos humanos publicados en los últimos años, que contradice la idea de que la dirofilariosis humana es accidental y poco frecuente. La expansión geográfica y el aumento de la

prevalencia en las poblaciones caninas es, probablemente, el factor más importante que influye sobre el incremento de casos humanos. Por lo que se refiere al espectacular aumento del número de casos subcutáneos/oculares, en comparación con el de casos pulmonares en Europa, se ha propuesto que la causa pudiese ser la existencia de dos variantes de *D. immitis* en América y Europa, no jugando ningún papel patógeno en el hombre la variante del Viejo Mundo. Además, los casos atribuidos a *D. immitis* podrían no estar bien caracterizados, por lo que *D. repens* sería casi exclusivamente la especie responsable de las infecciones humanas en Europa. También puede influir el hecho de que los nódulos subcutáneos son más fáciles de observar que los pulmonares, dada la localización de cada uno de ellos. Finalmente, el carácter generalmente asintomático de *D. repens* en perros puede contribuir a una expansión silenciosa de esta especie, en los humanos residentes en esas áreas (3).

Clínica

La dirofilariosis pulmonar humana (Imagen 1) se caracteriza por la aparición de nódulos pulmonares causados por vermes adultos inmaduros, una vez que alcanzan una rama de la arteria pulmonar de pequeño o mediano calibre, donde son retenidos causando un embolismo, una reacción inflamatoria local y formando nódulos.

Aunque los nódulos solitarios son los que aparecen con mayor frecuencia, se han descrito lesiones múltiples. Generalmente, las características radiológicas sugieren procesos

benignos. También se han descrito en muchas ocasiones, lesiones residuales calcificadas. Con cierta frecuencia, las lesiones desaparecen con el tiempo, lo que sugiere que la dirofilariosis pulmonar puede cursar con lesiones transitorias. Hay evidencias de que los nódulos tienden a aparecer en el pulmón derecho, habitualmente en localización periférica y, generalmente subpleural, si bien no hay diferencias en cuanto a su localización en los distintos lóbulos pulmonares. La dirofilariosis pulmonar se detecta con mucha mayor frecuencia en edad adulta, con una media de 53 años, aunque el rango se extiende desde los 10 a los 79 años y con predominio en hombres (2).

La dirofilariosis subcutánea se manifiesta como un nódulo subcutáneo que crece gradualmente durante semanas o meses. El nódulo tiene consistencia dura, elástica y está asociada a eritema. La mayor incidencia de casos subcutáneos ocurre en personas de 40 a 49 años, aunque se han descrito casos en todas las edades. Entre el 30 y 35% de los casos producidos por *D. repens* ocurren en la región ocular (zona orbital, párpados, tejido subconjuntival e intravítrea). Los síntomas más frecuentes son alteraciones de la visión, aunque en algunos casos se produce pérdida de la visión y otras complicaciones graves. Se ha señalado que el 10% de los pacientes pueden desarrollar complicaciones permanentes como desprendimiento de retina, glaucoma,

opacidad del humor vítreo o del cristalino u otras alteraciones de la capacidad visual. En casos de localización orbital se han descrito signos como blefaredema y/o ptosis palpebral. La presencia de vermes en la conjuntiva ocular puede causar también conjuntivitis, y tumefacción hiperémica conjuntival (7,8). Se ha encontrado en zonas endémicas, cierta correlación entre procesos atópicos humanos y seropositividad de *D. immitis*, por lo que se sospecha de su relación patogénica (9,10).

Diagnóstico

El hecho más significativo y con mayores consecuencias en el diagnóstico (Cuadro 2) de la dirofilariosis humana es el descubrimiento de nódulos.

Inicialmente, en el caso de nódulos subcutáneos o de localización ocular de los vermes, suele ser el propio paciente quien los descubre y solicita ayuda médica. Por el contrario, los nódulos pulmonares, además de presentar una localización profunda, son asintomáticos en un alto porcentaje de casos, por lo que sólo una parte son identificados accidentalmente, cuando se realiza una exploración radiológica de tórax, generalmente por razones no relacionadas con la dirofilariosis. Se suele complementar con estudios de tomografía computarizada y/o

Dirofilariosis pulmonar

- La mayoría de los casos son asintomáticos.
- Cuando hay síntomas, los más comunes son: dolor torácico, tos, febrícula y espectoración hemoptóica.
- Si hay efusión pleural es de poca magnitud.

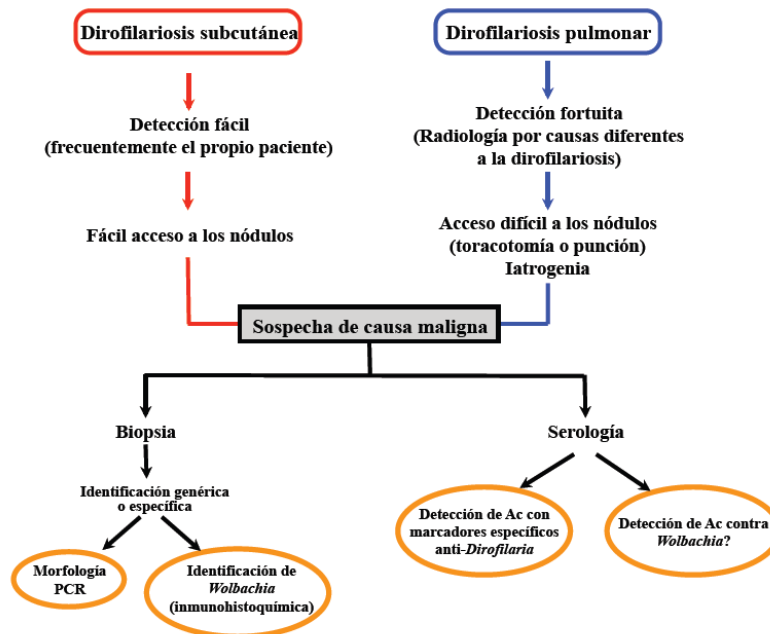
Radiológicamente se caracteriza por la aparición de nódulos solitarios pulmonares, frecuentemente transitorios.

También se han descrito pequeños granulomas calcificados.

Dirofilariosis subcutánea/ocular

- Aparece como un pequeño nódulo subcutáneo que crece gradualmente durante semanas o meses.
- Su consistencia es dura y elástica, y suele estar asociado a eritema.
- La palpación puede o no ser dolorosa.
- También aparecen vermes vivos localizados en la conjuntiva ocular. Se produce inflamación y tumefacción hiperémica conjuntival.
- Perjuicios en la visión, cuerpos flotantes, desprendimiento de retina, glaucoma, opacidad del humor vítreo.

Cuadro 1. Dirofilariosis pulmonar y subcutánea/ocular (11).



Cuadro 2. Dirofilariosis pulmonar y subcutánea (11).

resonancia magnética que tipifican las lesiones y pueden aclarar el diagnóstico. Los exámenes con ultrasonido y eco Doppler en pacientes con dirofilariosis han permitido avanzar

de manera importante en el diagnóstico preliminar de la zoonosis.

En estos exámenes se encuentran estructuras lineales encapsuladas hipocóicas sin vascularización interna y a veces también se

detecta el movimiento del parásito permitiendo de esta manera excluir procesos malignos antes de la cirugía en los pacientes examinados (7).

Laboratorialmente y ante la ausencia de microfilarias en la sangre, el diagnóstico se lleva a cabo, habitualmente, mediante biopsias que permiten determinar la presencia de los vermes en los nódulos. Este procedimiento es invasivo, ya que requiere la obtención de material biológico para su análisis posterior mediante histopatología (12).

Como alternativa y/o complemento al diagnóstico mediante criterios morfológicos se dispone, actualmente, de técnicas moleculares e inmunológicas. Para la detección de los parásitos, cuando estos tienen las características morfológicas alteradas, o si han desaparecido por la respuesta inflamatoria, la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) es una técnica muy valiosa, debido a su alta sensibilidad y especificidad. Se obtienen reacciones positivas con mínimas cantidades de DNA del parásito, incluso cuando las muestras están fijadas en diferentes medios. La tinción inmunohistoquímica para revelar la presencia de *Wolbachia* o sus moléculas en los nódulos puede ser, así mismo, de gran ayuda, porque una reacción positiva indica la existencia previa de *Dirofilaria*. Sin embargo, estas técnicas presentan la desventaja de que no evitan la intervención quirúrgica para la obtención de material biológico del nódulo (13)

A pesar de que por lo general solamente existe un verme en las infecciones humanas, estos desarrollan una fuerte respuesta de anticuerpos. La serología se convierte así en

una técnica complementaria a los métodos invasivos. Se han utilizado diferentes complejos antigénicos para detectar los anticuerpos y realizar el diagnóstico de la dirofilariosis humana. Se han puesto a punto test de enzimo inmuno ensayo (ELISA) utilizando extractos antigénicos somáticos y excretos/secretos de vermes adultos. No obstante, los antígenos complejos producen reacciones cruzadas entre las especies de *Dirofilaria* y con otras especies de helmintos parásitos del hombre, principalmente *Toxocara canis*. Sin embargo, la positividad de un test serológico debe ser complementada con otros datos, como la clínica, las técnicas de imagen, los antecedentes y la zona de residencia, antes de realizar cualquier tipo de medida diagnóstica invasiva (14,15,16)

Por lo que se refiere a *D. repens*, se han identificado varios polipéptidos específicos, que permiten, no sólo la discriminación entre dirofilariosis subcutánea y otras enfermedades parasitarias y no parasitarias, sino también de casos clínicos e infecciones sin alteraciones subcutáneas u oculares (17).

Tratamiento y prevención

El tratamiento farmacológico de la dirofilariosis humana se realiza en pocas ocasiones, siendo menor al 6% de los casos publicados. Los fármacos empleados han sido albendazol, dietil-carbamacina, ivermectina y doxiciclina.

Las acciones que pueden contribuir al adecuado manejo de la enfermedad son (3):

- La prevención veterinaria en los reservorios animales, que son la fuente de infección para el hombre. Todo aquello que contribuya a disminuir la incidencia en las poblaciones caninas, repercutirá beneficiosamente en la población humana.
- El conocimiento de la existencia de la dirofilariosis por parte de los médicos determinará su inclusión en el diagnóstico diferencial de casos de nódulos pulmonares y subcutáneos/oculares.

Conclusiones

La epidemiología de la dirofilariosis está sufriendo cambios importantes como consecuencia de la alteración de los parámetros climáticos típicos mundiales y de las diversas intervenciones antropogénicas que afectan a los vectores, las mascotas y el medio ambiente. Estos cambios y la aparición de nuevas especies de vectores parecen estar favoreciendo la expansión e introducción de la enfermedad. Sin embargo, a pesar de la mayor extensión e incidencia de la dirofilariosis canina, los casos clínicos de dirofilariosis pulmonar humana siguen siendo muy escasos, situación que contrasta con el espectacular aumento de la dirofilariosis subcutánea/ocular. Por otra parte, se requiere más atención futura a *D. immitis* como posible causa de dirofilariosis ocular y como agente productor de atopias en los residentes de zonas endémicas. Por todo ello, es necesario ampliar la información de la parasitosis, considerarla una zoonosis emergente, abordarla desde la perspectiva *One Health* y elaborar unos

protocolos clínicos consensuados, claros y homogéneos.

Agradecimientos

Al Profesor Fernando Simón Martín, catedrático de Parasitología de la Universidad de Salamanca que ha sido mi maestro y guía en el estudio y conocimiento de la dirofilariosis humana.

A Elena Carretón, sin ella no hubiéramos llegados tan lejos en este campo.

A todo mi equipo de trabajo que siempre me apoya y acompaña y está dispuesto a avanzar.

Referencias

1. Genchi, C., & Kramer, L. H. (2020). The prevalence of *Dirofilaria immitis* and *D. repens* in the Old World. *Veterinary Parasitology*, 280, 108995.
2. Simón, F., Siles-Lucas, M., Morchón, R., González-Miguel, J., Mellado, I., Carretón, E., & Montoya-Alonso, J. A. (2012). Human and animal dirofilariosis: The emergence of a zoonotic mosaic. *Clinical Microbiology Reviews*, 25, 507–544.
3. Simón, F., Diosdado, A., Siles-Lucas, M., Kartashev, V., & González-Miguel, J. (2021). Human dirofilariosis in the 21st century. A scoping review of clinical cases reported in the literature. *Transboundary and Emerging Diseases*, 1–16.
4. ESDA (2017) Guidelines for clinical management of human *Dirofilaria* infections. European Society of Dirofilariosis and Angiostrongylosis (ESDA). Available at <https://www.esda.vet/guide-lines-tutorials/>

5. Montoya-Alonso J.A., Carretón E., Morchón R., Silveira-Vieira L., Falcón Y., Simón F. (2016). The impact of the climate on the epidemiology of *Dirofilaria immitis* in the pet population of the Canary Islands. *Veterinary Parasitology* 30; 216: 66-71.
6. González-Miguel, J., Akhmadishina, L. V., Ruzina, M. N., Kyuregyan, K. K., Mikhailov, M. I., & Lukashev, A. N. (2020). Human seroprevalence data indicate other factors than climatic conditions influencing dirofilariosis transmission in the Russian Federation. *Journal of Helminthology*, 94, e195.
7. Kartashev, V., Tverdokhlebova, T., Korzan, A., Vedenkov, A., Simón, L., González-Miguel, J., Morchón, R., Siles-Lucas, M., & Simón, F. (2015). Human subcutaneous/ocular dirofilariosis in the Russian Federation and Belarus, 1997–2013. *International Journal of Infectious Diseases*, 33, 209– 211.
8. Capelli, G., Genchi, C., Baneth, G., Bourdeau, P., Brianti, E., Cardoso, L., Danesi, P., Fuehrer, H. P., Giannelli, A., Ionic[˘]a, A. M., Maia, C., Modrý, D., Montarsi, F., Krücken, J., Papadopoulos, E., Petrić, D., Pfeffer, M., Savić, S., Otranto, D., . . . Silaghi, C. (2018). Recent advances on *Dirofilaria repens* in dogs and humans in Europe. *Parasites & Vectors*, 11, 663.
9. Pou-Barreto C., Quispe-Ricalde M.A., Morchón R., Vázquez C., Genchi M., Postigo I., Valladares B., Simón F. (2008). Galectín and aldolase-like molecules are responsible for the specific IgE response in humans exposed to *Dirofilaria immitis*. *Parasite Immunology*, 30: 596-602 (2008).
10. Montoya-Alonso, J.A., Morchón, R., Matos JI, Falcón-Cordón, Y., Costa-Rodriguez, N., Carretón, E. (2020) *Dirofilaria immitis* Could Be a Risk Factor for the Development of Allergic Diseases in Humans. *Animals*, 11; 10 (10): 1847.
11. Simón, F. & Gussoni, S. (2012): Dirofilariosis en el hombre. En: Montoya-Alonso, J.A. & Carretón E. Dirofilariosis. *Pautas de manejo clínico*. Multimédica Ediciones Veterinarias. Barcelona: 173-186.
12. Simón, F., González-Miguel, J., Diosdado, A., Gómez, P. J., Morchón, R., & Kartashev, V. (2017). The complexity of zoonotic Filariasis episytem and its consequences: A multidisciplinary view. *BioMed Research International*, 6436130.
13. Manoj, R. R. S., Latrofa, M. S., Epis, S., & Otranto, D. (2021). Wolbachia: Endosymbiont of onchocercid nematodes and their vectors. *Parasites & Vectors*, 14, 245.
14. González-Miguel, J., Rosario, L., Rota-Nodari, E., Morchón, R., & Simón, F. (2010). Identification of immunoreactive proteins of *Dirofilaria immitis* and *D. repens* recognized by sera from patients with pulmonary and subcutaneous dirofilariosis. *Parasitology International*, 59, 248–56.
15. Huebl, L., Tappe, D., Giese, M., Mempel, S., Tannich, E., Kreuels, B., Ramharter, M., Veletzky, L., & Jochum, J. (2021). Recurrent swelling and microfilaremia caused by *Dirofilaria repens* infection after travel to

India. *Emerging Infectious Diseases*, 27, 1701–1704.

16. Kumar, A., Sreedhar, A., Biswas, L., Prabhat, S., Suresh,P., Asokan,A., Tomy,R. M., Vinod, V., Lakshmanan, B., Nambiar, A., & Biswas, R. (2021). Candidatus *Dirofilaria Hongkongensis* infections in humans during 2005 to 2020, in Kerala, India. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 104, 2046–2049.

17. Genchi, C., & Kramer, L. (2017). Subcutaneous dirofilariosis (*Dirofilaria repens*): An infection spreading throughout the old world. *Parasites & Vectors*, 10(Suppl 2), 517. (3):1357-61.

Enfermedades bacterianas emergentes en peces de México

César Ortega Santana

Correo electrónico:
cos_mx@hotmail.com

Sesión Solemne de Ingreso del

31 de mayo de 2022

RESUMEN

Este texto presenta la información sobre las enfermedades emergentes de etiología bacteriana que han sido reportadas en peces (silvestres, producción, ornato, agua dulce o salada) de México. El trabajo consiste en una revisión de publicaciones científicas que se presentan de manera cronológica describiendo especies afectadas, signos clínicos y modo de confirmación según lo descrito en los trabajos originales. Se observa que en México el estudio sanitario en peces es relativamente reciente, y que en los últimos años se ha incrementado la frecuencia de reportes principalmente asociadas a enfermedades emergentes; sin embargo, la situación sanitaria de la piscicultura del país no es conocida.

Palabras clave: Peces, enfermedades, infecciosas, bacterias, patógenos, signos clínicos.

Introducción

Las enfermedades son uno de los principales obstáculos para el éxito de la piscicultura; pese a que se conocen desde antes de la era cristiana, el surgimiento de la piscicultura intensiva y las actividades inherentes también han favorecido su aparición y propagación, cada vez más frecuente, por lo que es importante difundir el estado sanitario de la piscicultura de las regiones. La información recaudada ante brotes y/o durante actividades de vigilancia permite identificar riesgos y/o establecer acciones de control (1). Carecer de datos a menudo impide aplicar medidas de vigilancia.

Publicaciones sobre enfermedades de peces de México son escasas, en éstas se ha descrito aislamiento de bacterias ambientales oportunistas potencialmente patógenas obtenidas de peces sin signos de enfermedad septicémica (2,3), y solo recientemente se han reportado epizootias asociadas a bacterias emergentes afectando a peces de consumo y ornamentales (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11). La información existente podría indicar que la piscicultura del país es sana, pero pese a que se realizan actividades de vigilancia a través de comités de sanidad, la situación sanitaria de la piscicultura no es conocida. Documentos oficiales indican las enfermedades y plagas exóticas y/o endémicas en los animales acuáticos del país (12), sin embargo, no se conocen estudios que respalden tal información respecto a peces; estos documentos inclusive no consideran a varias enfermedades confirmadas por parte de actores no oficiales.

Enfermedad emergente es aquella pérdida del estado de salud en una población animal, capaz de expandirse y cuyo microorganismo cumple los siguientes criterios: a) es un nuevo agente etiológico, b) patógeno conocido que afecta a nuevo hospedador, c) tiene un nuevo serotipo o genogrupo de una especie previamente descrita y/o d) es un patógeno conocido en nueva área geográfica (13).

Con relación a lo anterior, debido a que no se conoce la situación sanitaria real de la piscicultura del país asociado a que los brotes de enfermedades no tienen adecuado seguimiento y resolución, es probable que algunos de los agentes bacterianos aislados correspondan a patógenos emergentes; siendo necesaria su confirmación. El diagnóstico y registro periódicos permitiría conocer la presencia o comportamiento de las enfermedades, podría indicar disminución del número de casos, pero también mostrar extensión a otras regiones o en patrón diferente; inclusive puede determinar el origen y factores predisponentes con lo cual se podrían establecer acciones de prevención y control (1). También permitiría realizar ajustes a las listas oficiales de enfermedades. Aquí se presenta una revisión general de las enfermedades bacterianas emergentes que han sido identificadas e informadas afectando a peces de México.

Desarrollo

Enfermedades por *Flavobacterium* spp.

El género *Flavobacterium* está integrado por 241 especies (14) de bacilos Gram-negativos no

flagelados e inmóviles, ligeramente curvados con extremos redondeados. Son organismos aerobios, quimiorganótrofos formadores de colonias pigmentadas en tono amarillento; pueden ser patógenos para todo tipo de animales, incluso humanos (15).

En peces, los principales agentes implicados en procesos de enfermedad son *Flavobacterium columnare*, *F. branchiophilum* y *F. psychrophilum* (16). *Flavobacterium columnare* causa la enfermedad de la columna, caracterizada por manchas blanquecinas o necróticas externas, que pueden erosionar la piel, aletas, branquias y pedúnculo caudal. *Flavobacterium branchiophilum*, causa la enfermedad bacteriana de las branquias (Bacterial gill disease BGD), asociado a alta morbilidad y mortalidad en peces de cualquier especie; la colonización en laminillas branquiales ocasiona necrosis del epitelio laminar. Por su parte, *F. psychrophilum* causa la enfermedad bacteriana del agua fría (BCWD), una patología de presentación septicémica, de distribución mundial en peces recién eclosionados y de primera alimentación observada en Norteamérica desde 1941. La misma enfermedad, denominada síndrome del alevín de la trucha arcoíris (*Rainbow Trout Fry Syndrome* -RTFS), se observó en Europa a partir de 1980 (6,15, 16).

Un primer antecedente de *Flavobacterium* spp. en peces de México (17), describieron un caso de enfermedad branquial en crías de trucha y cuadros similares al RTFS. Formalmente, el RTFS fue documentado en crías de trucha de 4 ± 0.5 g (6); las evidencias septicémicas

consistieron en ascitis, hemorragias y licuefacción del bazo, palidez de órganos abdominales (Figura 1A). Histológicamente se observó necrosis difusa en bazo y destrucción de cápsula esplénica, hepatitis, pancreatitis, esteatitis y peritonitis no supurativa, necrosis de pared abdominal a nivel de bazo (Figura 1B), edema renal y proliferación de melanomacrófagos, infiltración linfocitaria en dermis y musculatura. La confirmación molecular de *F. psychrophilum* y el estudio RFLP clasificó a los aislados en los genotipos B y R, indicando su origen en el huevo importado (6). RTFS ha sido observado en crías de trucha de varios estados del país; en tilapias se han observado casos sugestivos de enfermedad columnar, cuyas bacterias no fueron caracterizadas.

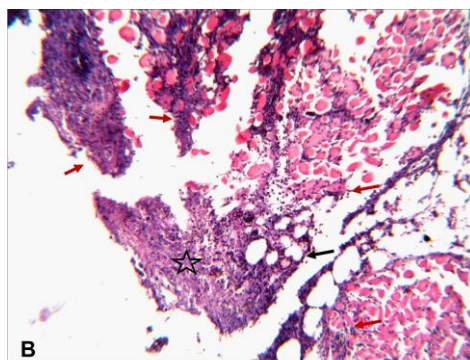


Figura 1. Cría de trucha arcoíris afectada por RTFS. (A) esplenomegalia, hemorragia y pigmentación amarillenta del bazo (flecha), y palidez de órganos internos (estrella). (B) Corte histológico de cría de trucha arcoíris afectada por RTFS; se observa esplenitis fibrinonecrótica esteatitis necrótica (flecha negra), miositis de músculos abdominales (flechas rojas) H&E. Imágenes del autor.

Infecciones por *Yersinia* spp.

La yersiniosis o enfermedad entérica de la boca roja (ERM) es una de las patologías de mayor impacto económico en cultivos de salmónidos de agua dulce. Es causada por *Yersinia ruckeri*, una bacteria Gram-negativa de la familia Enterobacteriaceae, no esporulada, sin cápsula con motilidad variable. Se aisló por primera ocasión de trucha arcoíris en los años 1950 (18). En América Latina ERM se ha registrado afectando a salmón del atlántico (*Salmo salar*), salmón coho y trucha arcoíris en Chile, y trucha

arcoíris en Perú (19). En México, se informó un caso de yersiniosis en el año 2000 en juveniles de trucha arcoíris (17), sin reportes de casos subsecuentes. A mediados de 2018 se observó un caso en peces juveniles de la región central del país. En los casos descritos, los peces afectados presentaron los signos clínicos reportados por la literatura para esta infección, destacando hemorragias en ojos, boca y base de aletas, así como enteritis y hemorragias en bazo (Figura 2). *Y. ruckeri* también se ha aislado de peces sin signos de enfermedad (2).



Figura 2. Truchas arcoíris afectadas por ERM. Se aprecia palidez branquial y en órganos internos, enteritis, hemorragia en bazo. Hemorragia en base de aleta caudal; en recuadro hemorragias en boca. Imágenes del autor.

Weisselosis

El género *Weissella* son bacterias ácido lácticas (BAL) (14), cocobacilares Gram-positivos, catalasa y oxidasa negativas, no esporuladas, inmóviles, anaerobias facultativas de metabolismo fermentativo (20). Miembros de este género han sido aisladas de gran variedad de hábitats, productos y subproductos alimenticios derivados de animales y vegetales, alimentos fermentados, tractos urogenital y gastrointestinal de humanos y animales (21). Algunas especies se consideran probióticas, *W. confusa* y *W. cibaria* tienen potencial como prebiótico y se usan en la industria de la panadería y bebidas fermentadas (21) Good, 2013); otras se han reportado como patógenos oportunistas en infecciones de humanos (20). *Weissella ceti* causa la “weisselosis”, una enfermedad septicémica emergente que provoca alta mortalidad en trucha arcoíris. Los brotes suelen ocurrir durante los meses de verano o cuando la temperatura se encuentra entre 18 - 20°C; la enfermedad disminuye o desaparece en invierno (22), y se ha comprobado recurrencia dependiente de la temperatura. Aunque se considera una patología de peces mayores a 100 g, Figueiredo *et al.*, (2012) (22) informaron que puede afectar

peces de cualquier etapa de producción. El primer reporte de weisselosis se describió en China en 2007 (23), registrando pérdidas de hasta 40% en truchas adultas con signología septicémica. Posteriormente se describió en otros países. El único caso documentado en México causó 60% de mortalidad en truchas de entre 100 a 300 g (7). Los peces afectados presentaron signos clínicos y lesiones típicas de septicemia hemorrágica, consistentes en oscurecimiento corporal, nado en superficie del agua y en salida de estanques, anorexia, letargia e incoordinación. Las lesiones incluyen palidez branquial, exoftalmia, opacidad corneal, hemorragia peri e intraocular y ruptura corneal. Internamente, hígado hemorrágico y/o de color irregular, hemorragias en vejiga natatoria, gónadas y en la superficie parietal de cavidad celómica (Figura 3), formación de pseudomembranas en corazón y hemorragias en cerebro (21, 22). Las lesiones histopatológicas incluyen edema corneal, inflamación retro-orbital, meningitis, degeneración, necrosis y vasculitis hepática, epicarditis y miocarditis granulomatosa (21). No se han informado otros casos de weisselosis en el país.

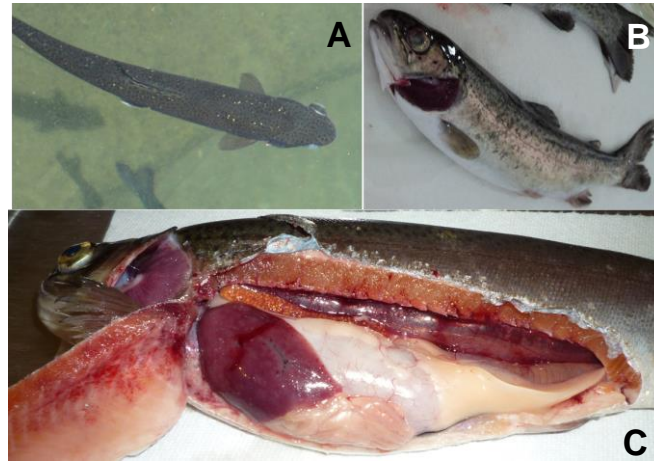


Figura 3. Signos y lesiones observadas en trucha arcoíris afectadas por weissellosis. (A) obscurecimiento corporal, exoftalmia, opacidad corneal, (B) mala condición general, (C) palidez branquial; internamente, hemorragias en hígado, riñón, ovario, vejiga natatoria y pared abdominal. Imágenes del autor.

Estreptococosis

La estreptococosis de peces es la manifestación clínica de un conjunto de infecciones septicémicas agudas que tienden a cronicidad, causadas por diferentes taxones de bacterias Gram-positivas de aspecto cocoide, catalasa y oxidasa negativas, que incluye los géneros *Streptococcus*, *Lactococcus* y *Vagococcus*. Estos agentes han sido conocidos por afectar a animales terrestres; sin embargo, la intensificación de la piscicultura ha favorecido su ocurrencia como infecciones emergentes en peces, destacando trucha arcoíris, jurel (*Seriola* spp.) y tilapias (24, 25). Las principales especies implicadas en el complejo *Streptococcus* son *S. iniae*, *S. agalactiae*, *S. dysagalactiae*, *S. parauberis*, *S. feacalis*, *Lactococcus garvieae* y *L. lactis* (25), que suelen estar presentes en agua, sedimentos y en peces. El surgimiento de enfermedad clínica normalmente se relaciona con estrés por manipulación, alta densidad, nutrición inadecuada y mala calidad del agua, destacando

aumento de temperatura en valores de entre 18°C - 25°C, según la especie afectada.

El primer registro de estreptococosis en peces ocurrió en 1957. Se considera uno de los principales riesgos sanitarios para salmónidos que suelen padecer brotes anuales, generalmente en verano (24). *Streptococcus* spp. son las bacterias Gram-positivas que más afectan tilapias, pueden generar mortalidades de alrededor de 90%, principalmente por *S. iniae* y *S. agalactiae* (24).

Los signos clínicos causados por infecciones de bacterias del complejo *Streptococcus* son similares, orientados a afección sistémica, siendo difícil establecer diferencias reales (8, 24). Los peces afectados presentan inactividad-letargia, obscurecimiento corporal, anorexia y caquexia, nado errático, palidez branquial, petequias o hemorragia periocular, exoftalmia uni o bilateral con o sin opacidad corneal (Figura 4), pérdida de escamas, hemorragias y/o lesiones ulceradas o abscesos en piel, prolapso y edema anal, hemorragias en base de aletas (8).

Un primer antecedente en peces de México indicó presencia de *S. iniae* y *S. agalactiae* en tilapias; sin embargo, no se describió la presentación clínica y características de las bacterias (Sheehan, 2009). La identificación formal de *S. iniae* como causa de estreptococosis se confirmó en tilapias de entre 200 - 450 g (8) que manifestaron signos clínicos y lesiones previamente descritos

(Figura 4) para esta enfermedad (24, 25). Otros casos por *S. iniae* en tilapias han sido confirmados; evidencias no publicadas sugieren que otros *Streptococcus* afectan tilapias del país. No se han reportado casos de infección septicémica por *Streptococcus* spp. en otras especies en el país.

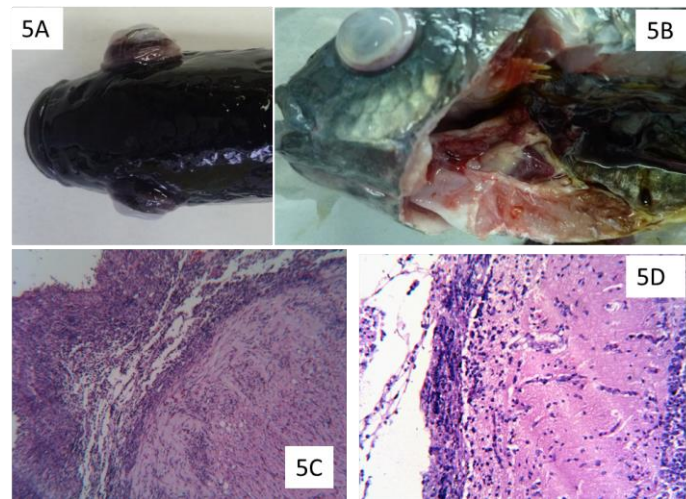


Figura 4. Tilapias (*Oreochromis* spp. afectadas por estreptococosis. (A) obscurecimiento corporal, exoftalmia; (B) opacidad corneal y exoftalmia, adherencias en corazón y exudado turbio; (C) sección histológica que ilustra pericarditis y epicarditis mononuclear severa; (D) Meningoencefalitis severa difusa con infiltración mononuclear. H&E. Imágenes del autor.

Lactococcus garvieae puede causar enfermedad septicémica en trucha arcoíris, tilapia y jurel con signos clínicos similares a lo descrito en estreptococosis (10, 27). En México, en 2016 se presentaron casos de enfermedad septicémica en truchas arcoíris de tamaño comercial, que ante signos clínicos e identificación preliminar como cocos gram-positivos se sospecharon como weissellosis (7). Sin embargo, estudios posteriores confirmaron

a *L. garvieae* como agente causal (Figura 5). Actualmente se han observado casos de lactococosis en las principales zonas de producción de trucha del país, afectando a peces de granjas de distinto nivel de tecnificación, con un factor común relacionado a la temperatura del agua de cultivo entre 16 - 18°C (22). No se ha informado lactococosis en tilapias de México.

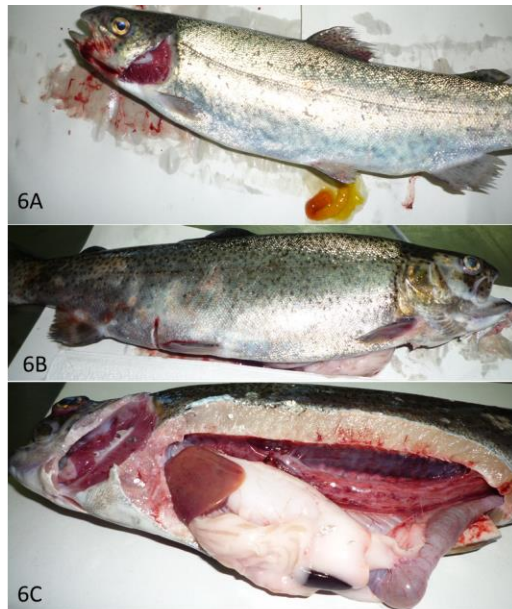


Figura 5. Lesiones macroscópicas en truchas arcoíris adultas afectadas por lactococosis. (A) mala condición corporal, anemia, aletas erosionadas, contenido intestinal mucoso sanguinolento y amarillento; (B) obscurecimiento corporal, exoftalmia y opacidad corneal, múltiples lesiones en piel; (C) exoftalmia y hemorragia ocular, adherencias en corazón, hemorragias en hígado, vejiga gaseosa y riñón. Imágenes del autor.

En peces, la micobacteriosis (micobacteriosis atípica) es causada principalmente por *M. marinum*, *M. chelonae* y *M. Fortuitum* (28); organismos ambientales presentes en suministros de agua potable, piscinas, aguas costeras e instalaciones de acuarios. Son patógenos oportunistas tanto para hospederos inmunocomprometidos como inmunocompetentes. No existe evidencia clara de transmisión directa; la infección ocurre a través de lesiones de piel, branquias e intestino, consumo y/o contacto con animales o protozoarios infectados (29).

La micobacteriosis atípica es enfermedad progresiva crónica de signos inespecíficos, caracterizada por formación de granulomas en órganos internos y superficies externas de peces. Puede ocurrir asintómicamente y desarrollar curso crónico que predispone recurrencia de brotes (29). Aunque tiene

potencial zoonótico no provocan las típicas lesiones observadas en casos de tuberculosis (30).

Mycobacterium fortuitum y *M. marinum* fueron aisladas y confirmadas mediante secuenciación, como causa de mortalidad en tilapias cultivadas del Estado de Campeche en 2013; desde 2007 se describieron lesiones sugestivas en peces de aquella región, donde la prevalencia se considera constante (4). Los autores también refieren aislamiento de *Vibrio* spp. y *Streptococcus* spp. y relacionan los signos clínicos y daños histológicos con micobacteriosis, respaldado por tinción Ziehl-Neelsen. Sin embargo, no se interpretó el efecto del *Streptococcus* sp. involucrado, ni su identificación definitiva, importante por ser patógeno relevante para tilapias.

Francisellosis por *Francisella orientalis*

El género *Francisella* comprende 9 especies (14), son cocobacilos Gram-negativos, inmóviles, aerobios e intracelulares facultativos de difícil aislamiento en medios de cultivo artificial. Las dos especies que causan importantes pérdidas económicas en cultivos de peces de agua dulce y marina son *Francisella orientalis* y *F. noatunensis*. Antes clasificada como *F. noatunensis* subsp. *orientalis* (Fno), *F. orientalis* afecta peces de aguas cálidas, incluyendo tilapia, lubina rayada, perca trilineata y peces ornamentales. Por su parte, *Francisella noatunensis* afecta a peces de agua fría como el bacalao del Atlántico y salmón del Atlántico (31).

Clínicamente, la francisellosis puede ocurrir como síndrome agudo de escasos signos inespecíficos y alta tasa de mortalidad, o bien subagudo a crónico con signos inespecíficos como anorexia, anemia, adelgazamiento progresivo, letargía, exoftalmia, abdomen distendido, con nódulos hemorrágicos o ulceraciones de piel e incoordinación (32). Durante la necropsia sobresale la presencia de nódulos blanco-amarillentos principalmente en bazo y riñón, aunque pueden apreciarse en

cualquier órgano, y presentar otras lesiones septicémicas (5, 33). El hallazgo histológico más notable es la formación de granulomas en tejidos que presentaron nódulos. La morbilidad y mortalidad está influenciada por factores como densidad de población, tipo de unidad de producción y condiciones medioambientales, así como presencia de infecciones mixtas con otros patógenos (32). El rango de mortalidad puede estar entre 1 a 90%; a 26°C la bacteria alcanza su máxima patogenicidad (33).

La francisellosis se confirmó en México a fines de 2012 en una granja de tilapia del centro del país donde se registró una mortalidad de 40% en peces reproductores de entre 200 y 350 g de peso (5), posteriormente se presentó en otros lugares con mortalidades variables y con manifestación clínico-patológica típica (Figura 6), acorde a la literatura (33). Además de afectar a tilapias, en México se ha confirmado en cíclido joya (*Hemichromis bimaculatus*), que presentaron múltiples nódulos en riñón y bazo, que histológicamente corresponden a granulomas (9). Esta enfermedad es la única que la autoridad sanitaria reconoce como importante para la piscicultura del país (12).

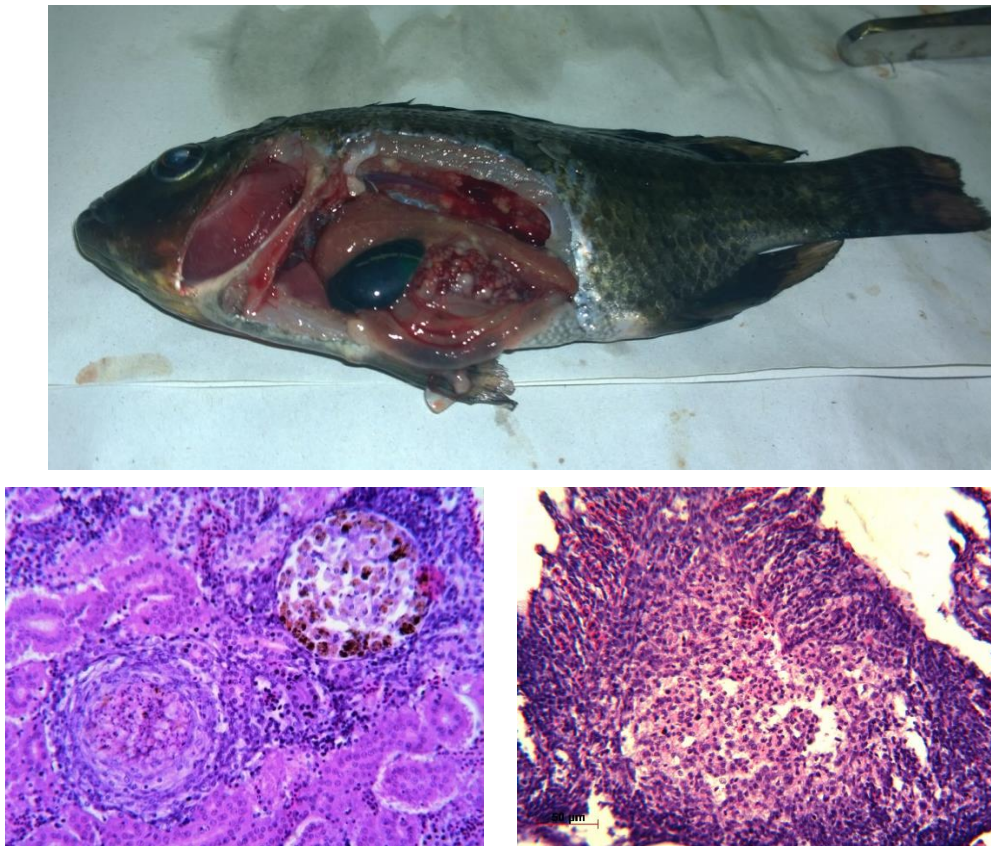


Figura 6. Tilapia (*Oreochromis* spp.) afectada por francisellosis. Las lesiones macroscópicas se caracterizan por ligera exoftalmia, branquias pálidas y presencia de nódulos en hígado, bazo y riñón (Flecha) (A). En preparaciones histológicas, se apreciaron granuloma en riñón (B), y en branquias (C). H&E. Imágenes del autor.

Infecciones por *Nocardia* spp.

La nocardiosis es una enfermedad bacteriana sistémica causada por bacterias del género *Nocardia*, organismos filamentosos, aeróbicos, Gram-positivos, parcialmente acidorresistentes, saprófitos que pueden afectar a humanos, otros mamíferos terrestres y marinos, y a peces (34).

Se trata de una enfermedad emergente que afecta principalmente animales mayores a 300 g. El primer caso de nocardiosis en peces fue atribuido a *N. salmonicida* en salmón rojo (*Oncorhynchus nerka*) en 1949; sin embargo, *N. seriolae* es la especie más reportada causando pérdidas económicas severas en varias especies, principalmente en Asia (35). La mortalidad puede ser de 35% o mayor (11). Los

peces afectados presentan signos de anorexia, emaciación, nado lento y errático, distensión abdominal, presencia de úlceras y/o nódulos blanco-marfil en branquias, piel o aletas, que también se presentan en órganos y superficies serosas. Histológicamente los nódulos corresponden a granulomas que consisten en necrosis y *debris* celulares con agregados bacterianos al centro de la lesión (34).

En México, a finales del año 2013 se registró una mortalidad acumulada de 70% en corvina roja (*Sciaenops ocellatus*) en promedio de 898 g y entre 12 a 18 meses de edad en una granja de Campeche. Los animales presentaron signos y lesiones típicos de enfermedad granulomatosa: múltiples nódulos blanco-amarillentos de 0,1 a 0,8 cm de diámetro en

órganos internos, identificando a *N. seriolae* como agente causal (11). La publicación describe una nueva especie de peces afectada por este patógeno, y representó el primer

Conclusiones

En México, a nivel académico y oficial se realizan acciones para determinar el estado sanitario de la acuicultura; sin embargo, los resultados de estas actividades son poco conocidos, sobre todo las emanadas del sector oficial. Disponer de esta información, no precisamente como publicaciones científicas, permitiría conocer la situación sanitaria real del país, estimar pérdidas e impactos causados por los patógenos, conocer su comportamiento o variantes, y proponer medidas de prevención y control.

Hasta la primera década del presente siglo, los principales aislamientos en peces del país correspondieron a bacterias oportunistas; sin embargo, acorde con la tendencia sanitaria internacional sobre el incremento de ocurrencia de enfermedades emergentes, a partir del año 2012, estas enfermedades se han presentado afectando a tilapias, trucha arcoíris y corvina roja del país. No se han informado los impactos económicos y productivos que las enfermedades aquí descritas han causado a la piscicultura del país.

Referencias

1. Bondad-Reantaso MG, Fejzic N, MacKinnon B. *et al.* A 12-point checklist for surveillance of diseases of aquatic organisms: a novel approach to assist multidisciplinary teams in

reporte de una enfermedad en peces de agua salada del país. La recurrencia de la enfermedad ocasionó el cierre de actividades de la granja afectada.

developing countries. *Rev Aquac.* 2021; 13(3): 1469-1487.

2. Salgado-Miranda C, Palomares E, Jurado M, Marín A, Vega F, Soriano-Vargas E. Isolation and distribution of bacterial flora in farmed rainbow trout from México. *J Aquat Anim Health.* 2010; 22:244-247.

3. Huicab-Pech ZG, Chavez-Castañeda MR, Lango-Reynoso F. Pathogenic Bacteria in *Oreochromis Niloticus* Var. Stirling Tilapia Culture. *Fish Aqua J.* 2017; 8(2):1-7. 6.

4. Lara-Flores M, Aguirre-Guzmán G, Balanzetina SB, Sonda-Santos KY, Zapata AA. Identification of a *Mycobacterium* agent isolated from tissues of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Turkish J Fish Aquat Sci.* 2014; 14:575-580.

5. Ortega C, Mancera G, Enríquez R, Vargas A, Martínez S, Fajardo R, *et al.* First identification of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* causing mortality in Mexican tilapia *Oreochromis* spp. *Dis Aquat Organ.* 2016; 120:205-215.

6. Castillo-Miranda A, Ortega C, Martínez-Castañeda S, Fajardo-Muñoz R, Valladares-Carranza B, Avendaño-Herrera R, *et al.* First isolation and characterisation of *Flavobacterium psychrophilum* from Diseased rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Farmed in Mexico. *Bull Eur Assoc Fish Pathol.* 2017; 37:23-30.

7. Castrejón-Nájera J, Ortega C, Fajardo R, Irgang R, Tapia-Cammas D, Poblete-Morales M, Avendaño-Herrera R. Isolation characterization, virulence potential of *Weissella ceti* responsible for weissellosis outbreak in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured in Mexico. *Transbound Emerg Dis.* 2018; 65: 1401–1407.
8. Ortega C, García I, Irgang R, R Fajardo, D Tapia-Cammas, J Acosta, Avendaño-Herrera R. First identification and characterization of *Streptococcus iniae* obtained from tilapia (*Oreochromis aureus*) farmed in Mexico. *J Fish Dis.* 2018; 41(5):773-782.
9. López-Crespo R, Martínez-Chavarría L, Lugo-García AT, Romero-Romero L, García-Márquez LJ, Reyes-Matute A. Outbreak of francisellosis (*Francisella noatunensis* subsp. *orientalis*) in cultured neon jewel cichlids *Hemichromis bimaculatus* from Morelos, Mexico. *Dis Aquat Organ.* 2019; 137:125-130.
10. Ortega C, Irgang R, Valladares-Carranza B, Collarte C, Avendaño-Herrera R. First Identification and Characterization of *Lactococcus garvieae* Isolated from Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Cultured in Mexico. *Animals.* 2020; 10(9): 1609.
11. Del Rio-Rodríguez E, Ramírez-Paredes JG, Soto-Rodríguez S, Shapira Y, Huchin-Cortes M, Ruiz-Hernández J, et al. First evidence of nocardiosis in farmed red drum (*Sciaenops ocellatus*, Linnaeus) caused by *Nocardia seriolae* in the Gulf of Mexico. *J Fish Dis.* 2021; 44(8):1117-1130.
12. Diario Oficial de la Federación. ACUERDO mediante el cual se dan a conocer en los Estados Unidos Mexicanos las enfermedades y plagas exóticas y endémicas de notificación obligatoria de los animales terrestres y acuáticos; noviembre de 2018. [Consultado 28 marzo 2021]. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545304&fecha=29/11/2018.
13. Romalde JL, Ravelo C, López-Romalde S, Avendaño-Herrera R, Magariños B, Toranzo AE. Vaccination strategies to prevent important emerging diseases for Spanish aquaculture. In: Midtlyng PJ (ed) Progress in fish vaccinology. Developments in biologicals, Vol 121. Karger, Basel. 2005. p 85–95.
14. Parte AC, Sardà CJ, Meier-Kolthoff JP, Reimer LC, Göker M. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2020; 70:5607-5612. 8.
15. Loch TP, Faisal M. Emerging flavobacterial infections in fish: A review. *J Adv Res.* 2015; 6(3):283-300.
16. Wahli T, Madsen L. Flavobacteria, a never ending threat for fish: a review. *Curr Clin Microbiol Rep.* 2018; 5(1):26-37.
17. Ortega C, Valladares B. Analysis on the development and current situation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming in Mexico". *Rev Aquac.* 2015; 9(2): 194-202.
18. Pajdak-Czaus J, Platt-Samoraj A, Szweda W, Krzysztof AS, Terech-Majewska E. *Yersinia ruckeri*—A threat not only to rainbow trout. *Aquac Res.* 2019; 50(11): 3083-3096.

19. Avendaño-Herrera R, Tapia-Cammas D, Aedo A, Saldivia P, Ortega C, Irgang R. Disease caused by *Yersinia ruckeri* serotype O2b found in Chilean-farmed coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792). *J Fish Dis.* 2017;40(2): 279-285.
20. Fusco V, Quero MQ, Cho GS, Kabisch J, Meske D, Neve H, et al. The genus *Weissella*: taxonomy, ecology and biotechnological potential. *Front Microbiol.* 2015; 6:1–22.
21. Welch TJ, Good CM. Mortality associated with Weissellosis (*Weissella* sp.) in USA farmed rainbow trout: Potential for control by vaccination. *Aquaculture.* 2013; 388:122–127.
22. Figueiredo HC, Costa FA, Leal CA, Carvalho-Castro GA, Leite RC. *Weissella* sp. outbreaks in commercial rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms in Brazil. *Vet Microbiol.* 2012; 156:359–366.
23. Medina M, Fernandez-Espinel C, Sotil G, Yunis-Aguinaga J, Flores-Dominick V. First description of *Weissella ceti* associated with mortalities in farmed rainbow trout in Peru. *Aquaculture.* 2020; 529:735608.
24. Fawzy NM, Osman K, Ibrahim ME, Naguib M, Ali M, Abd-Elrahman S. Streptococcosis in tilapia: Clinico-pathological picture of experimentally infected tilapia. *Life Sci.* 2014; 11:1005–112.
25. Bwalya P, Simukoko C, Hang'ombe BM, Støre SC, Støre P, Gamil AA, et al. Characterization of streptococcus-like bacteria from diseased *Oreochromis niloticus* farmed on Lake Kariba in Zambia. *Aquaculture.* 2020; 523:735185.
26. Sheehan, B. Estreptococosis en tilapia: ¿Un problema más complejo de lo esperado? Intervet Schering-Plough Animal Health. Ponencia en Simposium Manejo de *Streptococcus* en Peces de Aguas Cálidas. Memorias del Congreso Mundial de Acuicultura. 25 de septiembre 2009, Veracruz, México. 2009. p. 21-26.
27. Karsidani HS, Soltani M, Nikbakhat-Brojeni G, Ghasemi M, Skall HF. Molecular epidemiology of zoonotic streptococcosis/lactococcosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture in Iran. *Iran J Microbiol.* 2010; 2(4):198-209.
28. Porvaznik I, Solovič I, Mokry J. Non-Tuberculous Mycobacteria: Classification, Diagnostics, and Therapy. *Adv Exp Med Biol.* 2017; 2017944:19-25.
29. Johansen MD, Herrmann JL, Kremer L. Non-tuberculous mycobacteria and the rise of *Mycobacterium abscessus*. *Natl Rev Microbiol.* 2020; 18(7):392-407.
30. Gauthier DT. Bacterial zoonoses of fishes: A review and appraisal of evidence for linkages between fish and human infections. *Vet J.* 2015;203:27-35.
31. Ramirez-Paredes JG, Larsson P, Thompson KD, Penman DJ, Busse HJ, Ohrman C, et al. Reclassification of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* Ottem et al. 2009 as *Francisella orientalis* sp. nov., *Francisella noatunensis* subsp. *chilensis* subsp. nov. and emended description of *Francisella noatunensis*. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2020; 70:2034-2048.

32. Colquhoun DJ, Duodu S. *Francisella* infections in farmed and wild aquatic organisms. *Vet Res.* 2011; 42(1):42-47.
33. Soto E, Baumgartner W, Wiles J, Hawke JP. *Francisella asiatica* as the causative agent of piscine francisellosis in cultured tilapia (*Oreochromis* sp.) in the United States. *J Vet Diagn Invest.* 2011; 23:821–825.
34. Maekawa S, Yoshida T, Wang PC. Current knowledge of nocardiosis in teleost fish. *J Fish Dis.* 2018; 41(3):413-419.
35. Nayak SK, Nakanishi T. Development of Vaccines Against Nocardiosis in Fishes. *Methods Mol Biol.* 2016; 1404:193-201.

Generación de un modelo de capacidad de carga para el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*)

Fernando Xicoténcatl

Plata Pérez

Correo electrónico:

ppfx2221@correo.xoc.uam.mx

Trabajo presentado en la

Sesión Solemne de Ingreso del

14 de junio de 2022

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue generar un modelo para la estimación de la capacidad de carga (K) del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) incorporando como variables; las preferencias del alimento consumido; el metabolismo ecológico del animal; la distancia radial al agua y la cobertura de escape, para lo cual el trabajo se dividió en tres partes: 1) comparación de un conjunto de modelos que determinan la K para el hábitat de venado cola blanca. 2) caracterización del consumo voluntario del venado en cautiverio 3) desarrollo de modelos de estimación de K basados en el requerimiento energético, presencia de agua y cobertura de escape. La conjunción de las variables anteriores generó dos modelos. El primero incorpora el metabolismo ecológico, la biomasa vegetal aportada por arbustivas y la cobertura de escape. Mientras que el segundo utiliza el porcentaje de asignación del forraje utilizado en el modelo de la presión de pastoreo.

Palabras clave: Venado cola blanca; capacidad de carga; cobertura de escape. preferencias alimenticias.

Introducción

El venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) es un animal silvestre que habita en casi todo el continente americano y su hábitat se encuentra en prácticamente todos los ecosistemas siempre que éstos le proporcionen cobertura y alimento. Económicamente, es considerado el trofeo de cacería más importante en todo el mundo. En México, hasta antes de la pandemia, dicha actividad comenzaba a volverse económicamente importante y por esta razón, la Dirección General de Vida Silvestre dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) registró 8928 unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA's) hasta el año 2019; dentro de éstas, en 5340 estaba autorizado el aprovechamiento extractivo; y para el año de 2018 se otorgaron más de 26,591 permisos de cacería (1, 2). Estimando que el precio de cada permiso de cacería está alrededor de 1000 dólares el ingreso potencial por esta actividad fue de \$74, 649, 600.00 MN. Es importante señalar que el permiso autoriza, pero no garantiza la caza; es decir, los ingresos que se reciben no han significado necesariamente la muerte de más de 3000 animales, pero sí han generado un ingreso importante para todas las comunidades que ofertan estos tipos de servicios. Uno de los requisitos para el otorgamiento de los permisos para caza de esta especie es la entrega del informe anual, en dicho documento se establece; el plan de manejo, las actividades realizadas a lo largo del año dentro de la UMA y la estimación tanto de la capacidad de carga

como del número de individuos de la especie a cazar que probablemente existen dentro de la UMA.

En México, para los productores de ganado doméstico y los manejadores de pastizales, a la superficie necesaria para sostener a una Unidad Animal (UA) al año, en forma permanente y sin deteriorar los recursos naturales, se le conoce con el término de Coeficiente de agostadero y se expresa en hectáreas por Unidad Animal al año (ha/UA al año). En bovinos, este coeficiente se estima con base a la disponibilidad de la materia seca que existe en cada potrero y existen diversos métodos de muestreo que permiten cuantificar dicha variable. Sin embargo, para otras especies animales como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), la estimación del número de animales que un hábitat puede mantener en una condición vigorosa y saludable (K) es un problema más complejo que tiene sus orígenes a comienzos del siglo pasado. Por tal razón y a lo largo de todo este tiempo se han generado y discutido diversos tipos de modelos que permiten su determinación (3). Por tal razón el objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo de capacidad de carga para venado cola blanca en vida libre.

Desarrollo

El desarrollo de este modelo contempló tres partes. En la primera se evaluaron las preferencias alimenticias del venado cola blanca. Desde que esta especie es considerada selectora de concentrados es evidente que las preferencias de alimento consumido son

diferentes a las de los bovinos. En la segunda parte se evaluaron los diversos modelos de estimación de la capacidad de carga, los cuales son utilizados principalmente para estimar la K de los bovinos en pastoreo y que se ocupan ocasionalmente para estimar la K del venado cola blanca. En la tercera parte se evaluaron algunos de los factores ambientales (bióticos y abióticos) que podrían modificar la presencia del venado cola blanca.

Resultados

Las preferencias alimenticias del venado cola blanca

Desde hace mucho tiempo se sabe que el venado cola blanca es un selector de concentrados y por esa razón se sabe que su dieta es diferente a la de los rumiantes; debido a sus hábitos alimenticios, la diversidad de plantas forrajeras en el agostadero las vuelve un componente importante para la alimentación y nutrición de esta especie (4). En contraste con el ganado vacuno, los hábitos de consumo de esta especie son de ramoneo y el tipo de especies vegetales que consumen son casi totalmente diferentes a las del bovino. Varios estudios muestran que aún bajo condiciones de excelente pastizal los venados solo consumen alrededor de un 8% de gramíneas del total de su dieta, en consecuencia, la capacidad de carga de un sitio dado cuando se utiliza para mantener ganado bovino es diferente a la capacidad del mismo sitio para mantener venados (5; 6; 7;8). Deyoung et al (9) encontraron que existe una interacción significativa ($P < 0.04$) entre la comunidad vegetal y el tipo de dieta que

selecciona una especie determinada. Esta selectividad está vinculada al peso metabólico de la especie, debido a que animales con un menor tamaño y un mayor gasto energético están obligados a consumir una dieta con una mayor concentración de nutrientes para cubrir sus requerimientos metabólicos de mantenimiento. En México, trabajos realizados por Martínez et al. (10) muestran que, en los venados, la dieta cambia de acuerdo con el sistema de pastoreo existente en la zona que habita. Trabajos realizados por Plata et al. (11) en cautiverio y Arellano (12) en vida libre confirman que el venado prefiere una dieta a base de arbóreas, arbustivas y herbáceas dentro de las cuales las leguminosas juegan un rol preponderante y minimizan el consumo de gramíneas

El problema de la estimación de la capacidad de carga.

La capacidad de carga ha sido definida de diversas maneras. En general, la K ecológica es definida como el número máximo de animales que puede tener una población de acuerdo con el modelo logístico, mientras que las restricciones a dicho crecimiento incluyen la disponibilidad de espacio, agua y biomasa comestible. Esta capacidad de carga ecológica se alcanza cuando la tasa de producción de forraje es igual a la tasa de su consumo por los animales, entonces el crecimiento del hato se detiene debido a la escasez de alimentos y la tasa de mortalidad se iguala con la tasa de natalidad (13). Por otro lado, la capacidad de carga económica establece un límite teórico, que señala el número de unidades ganaderas

que pueden utilizar el recurso forrajero de un área determinada con el fin de lograr un cierto objetivo de manejo (por ejemplo; producción óptima de carne o leche; 14).

Se han evaluado diferentes métodos para determinar la capacidad de carga; 1) El concepto ecológico que considera que K es igual a la densidad estimada de animales más los animales muertos en el área (15). 2) En venados, se han evaluado métodos que utilizan la materia seca o los nutrientes disponibles en el área y los dividen entre los requerimientos nutritivos; Sin embargo, el problema de dichos modelos es que los requerimientos nutritivos son definidos en forma fija (16, 17, 7, 18, 19), lo que fisiológicamente no ocurre en los animales. 3) En bovinos, se diseñó una técnica para estimarla incorporando el concepto de presión de pastoreo (PP), el cual en lugar de estimar el consumo del animal se asigna un porcentaje de su peso vivo como requerimiento de forraje (20).

Es importante entender que la K de un predio o una región es dependiente del tipo y disponibilidad de vegetación presente, de los hábitos de consumo y de los requerimientos nutricionales de la especie, los cuales cambian de acuerdo con la época del año (7). Por esa razón, Moen (21) desarrolló un modelo para estimar el gasto energético de un venado cola blanca en función los requerimientos nutricionales; este modelo es dinámico y permite estimar los cambios en dichos requerimientos asociados la época del año, el género y el estado fisiológico del animal por esa razón definió a este requerimiento de energía

como el metabolismo ecológico del venado (MEV); este modelo fue modificado por Clemente (22) para estimar el MEV como requerimiento de energía metabolizable (EM) en función del peso vivo y en 2010 se generó un modelo de estimación de capacidad de carga que, a diferencia de los métodos anteriores, es un método dinámico que cambia el requerimiento energético de acuerdo con la época del año junto con los cambios de actividad del venado. Para estimar la capacidad de carga en este modelo se dividió la energía metabolizable disponible de la biomasa total o de los diversos estratos vegetales entre la sumatoria del requerimiento energético del animal de los meses que corresponden a cada periodo (verano, otoño e invierno). Una evaluación de los modelos anteriores realizada por Plata et al., (23), mostró que había diferencias significativas tanto entre los métodos de estimación ($P < 0.003$) como entre la K estimada a partir de los diversos grupos vegetales ($P < 0.0001$); pero que la interacción entre las dos variables no era significativa ($P = 0.20$). Dentro de métodos, la estimación de K utilizando la MS generó el valor más alto, mientras que la estimación por PC produjo valores intermedios y el uso de ED, PP y EM generaron los valores más bajos. Dentro de grupos vegetales, la estimación más alta de K se obtuvo con la sumatoria de la biomasa de los diferentes grupos, mientras que las gramíneas y las herbáceas generaron valores intermedios y tanto las arbóreas como las arbustivas tuvieron los valores menores; sin embargo, sólo estas últimas tuvieron un valor de K menor a la

densidad poblacional. El análisis de los contrastes mostró que dentro de los métodos evaluados tanto la suma de las herbáceas con las arbustivas versus los pastos y las arbóreas como la de las arbustivas con las arbóreas versus los pastos y las herbáceas tuvieron una menor K . De lo anterior podemos concluir que la capacidad de carga de un predio para mantener al venado cola blanca cambia de acuerdo con el método de estimación y por esa razón comparar la K con la densidad de población (DP) es importante, cuando un área no tiene disturbios, la K es igual a la DP más los animales muertos por los predadores y, en consecuencia, la K estimada correctamente es aquella que se acerca más a la DP. En ese sentido, los resultados sugieren que a menor exigencia en el requerimiento de forraje o de nutrientes, mayor K estimada. Por ejemplo, si se compara la capacidad de carga estimada a partir de la concentración de ED de los grupos vegetales (0,451) con la estimada en base al metabolismo ecológico (0,256), se puede apreciar que, al no considerar el gasto energético adicional al metabolismo basal lleva a una sobrestimación de esta. El cálculo original de Moen (21) para estimar el metabolismo ecológico del venado es laborioso; por esa razón se han puesto a disposición de la comunidad programas en plataformas (<http://www.bioeficiencia.net/>) que permiten determinar el requerimiento del venado cola blanca en forma sencilla considerando otros factores (época del año, sexo, estado fisiológico) y mejoran la estimación del

requerimiento energético evitando una subestimación de este.

Los factores ambientales (bióticos y abióticos) que modifican la presencia del venado cola blanca

La sola presencia de leguminosas, arbustivas y herbáceas que consume el venado cola blanca no garantizan la presencia o la permanencia de este animal en una región dada. Históricamente se ha considerado que los animales silvestres de cualquier tipo requieren de tres aspectos fundamentales; alimento, agua y cobertura, dentro de estas tres el agua es una de las más importantes en las regiones áridas y semiáridas de tal forma que su existencia modifica la presencia tanto de especies herbívoras como de sus predadores (24). Por otro lado, la cobertura vegetal, el espacio y la calidad del hábitat también son factores limitantes para el crecimiento de la especie (25). Para el venado cola blanca, el agua es el nutriente más crítico (4), por tal razón, se ha promovido el aumento de las fuentes de agua (26). Normalmente, la información sugiere que el venado cola blanca se mantiene dentro de un radio de 400 metros de la fuente de agua y no llega a rebasar los 1200 metros por lo que la existencia de fuentes de agua aumenta su presencia en las unidades de manejo y aprovechamiento sustentable (UMAS) de animales silvestres y es un elemento limitante de la capacidad de carga (K) de una región dada. En el estado de Arizona EU, los venados se encuentran normalmente a una distancia menor de 0.4 km y que nunca rebasa los 1.2 km (24). En México, el ámbito hogareño del venado

cola blanca puede llegar a estar más allá de los 1600 m de la fuente de agua lo que representa un hábitat de alrededor de 3.2 km² (27).

Cobertura

Algunos trabajos muestran que el venado tiende a seleccionar áreas donde los árboles son más altos, cubiertas con un mayor follaje y con una mayor cobertura horizontal, lo cual se explica a causa del menor gasto energético que tiene un venado cuando está más cubierto. Dicha reducción ocurre como consecuencia de un ahorro en energía por la disminución del estrés al que se somete a un animal al no estar expuesto a un conjunto de factores estresantes como puede ser la presencia de posibles depredadores (28). Trabajos realizados en las montañas centrales de Wyoming y Dakota Del Sur EU y en México muestran que cuando el agua no es un factor limitante, los hábitats seleccionados por los venados dependen del sexo, el año y el tipo de especie vegetativa predominante en los mismos; por lo que se puede afirmar que los venados prefieren zonas con una alta cobertura térmica donde predominan árboles, arbustos y herbáceas que los protejan de los posibles depredadores y evitan al máximo regiones donde solo predominan las arbustivas o los pastizales (29, 30), lo que hace que cuando en una región se reducen las arbóreas la presencia de estos animales también se reduce, por esa razón desde 1986, el Servicio de Caza y Pesca de los EU contemplaba en sus modelos de evaluación de hábitat la necesidad de considerar la cobertura de escape (CE). Esta se define como el elemento estructural del hábitat el cual

alberga, oculta y protege a los animales en vida libre (31) y se considera que se requiere al menos un 20% como mínimo necesario para que los venados pudieran utilizar una región dada, esta cobertura podía provenir del follaje de la vegetación, de los tallos o fallas topográficas del terreno (32). Sin embargo, el porcentaje reportado de CE requerido para favorecer la presencia de dicha especie es variable.

Considerando que una estimación de la capacidad de carga para el venado cola blanca sería incompleta si el modelo además de ponderar sus nutrientes y grupo vegetal no incluía la cobertura de escape y la distancia radial al agua, evaluamos el porcentaje mínimo de CE que aumenta la presencia del venado junto con el tamaño del área alrededor de los agujeros donde el venado puede localizarse. Adicionalmente, evaluamos la presencia del coyote, debido a que su presencia puede modificar el número de venados en el área. La cuantificación de estas variables permitiría generar prácticas de manejo, que incrementen la presencia del venado en las Unidades de Manejo (UMAs) para la conservación de la vida silvestre. Nuestros resultados mostraron (Cuadro 1) que la distancia al agua y la cobertura de escape modifican el número de indicios de venado cola blanca (DRA; $P < 0.0004$ y CE; $P < 0.0001$). La ecuación generada muestra que el porcentaje mínimo de CE requerido para tener una probabilidad del 50 % de poder encontrar excretas de venado fue cercano al 60 %. En ese trabajo pudimos observar que, de los 12 sitios muestreados, en

los que se encontró el mayor número de indicios, la cobertura fue mayor al 55 %, mientras que un sólo sitio con indicios de venado tuvo una cobertura menor al 30 %. Este efecto puede ser explicado porque la cobertura de escape donde se encuentran los venados

varía dependiendo del tipo de actividad que realizan en ella. De tal manera que cuando se alimentan, ocupan una cobertura de escape más baja que cuando están en áreas de descanso (32.8 y 53 %, 29, 30) lo cual coincidió

DRA (m)	< 800	≥ 800 ≤ 1600	> 1600	EEM
Volumen vegetal (m ³ -m ²)	0.36a	0.57 a	0.76 a	0.183
Cobertura de escape (%)	65 a	74 a	73 a	0.04

Especie	Número de GFs por transecto			
<i>Odocoileus virginianus</i>	1 1.5 c	2.5 b	2.9 a	0.32
<i>Canis latrans</i>	3.4 b	0 a	0 a	X ² =13.29
Ecuación				R ²
I =	-61.53247+110.68574*CE-134.64085*(CE-0.70569) ² -723.33447*(CE-			0.75
	0.70569) ³			

Cuadro 1. Efecto de la distancia radial al agua y la cobertura de escape (CE) en el número de grupos fecales (GFs) de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y coyote (*Canis latrans*) Villarreal et al. (2012 27).

con los resultados de nuestro trabajo. También en este trabajo y a diferencia de lo reportado en la literatura el venado cola blanca se mantenía lejos (> 1600 m) de las fuentes de agua y esto se debía a que el coyote se mantenía siempre a menos de 800 m de los aguajes, esto le permitía al coyote aumentar la probabilidad de captura de sus presas.

Incorporación de la cobertura de escape en un modelo de capacidad de carga para venado de cola blanca

Como se ha venido mencionando, uno de los problemas que tienen los modelos para estimación de la *K* utilizando la disponibilidad de nutrientes para el hábitat del venado de cola blanca, es que no estiman adecuadamente la

capacidad de este (17, 23). Debido a que estos modelos sólo consideran la disponibilidad de nutrientes. La falta de exactitud de estos es debida a que no consideran otros factores como la distribución de las especies vegetales, la presencia del agua y la existencia de cobertura de escape, que les permite esconderse de los depredadores. Por estas razones se planteó un trabajo con el objetivo de evaluar el impacto de la cobertura de escape e incorporarla a un modelo de capacidad de carga de tipo nutricional. Luego, evaluar mediante un análisis de sensibilidad, determinar el impacto de los componentes del modelo en la capacidad de carga de un área determinada donde habita el venado de cola blanca. Por lo que primeramente se eligió uno de los modelos que habían sido evaluados previamente (11). El

modelo que eligió es el modelo que estimaba la K a partir de la energía metabolizable (EM) de los grupos vegetales presentes en un área dada pero no reduce el impacto del aporte de la EM de las gramíneas, el modelo seleccionado se presenta en la siguiente ecuación (1)

$$K = \frac{\sum_{1...n} Emf * A * 0.35}{\sum_{1...m} MEV_d} \quad (1)$$

Donde:

K es la capacidad de carga (venados de 60 kg/ha). Emf = Energía metabolizable del forraje de la especie vegetal 1 hasta n (kcal/ha). A = área total del predio (ha). n = Estrato vegetal. m = Día juliano. MEV_d = Metabolismo ecológico de un día juliano X de un venado de 60 kg (kcal/día). 0.35 = Eficiencia de utilización del forraje.

Sin embargo, si se observa detalladamente la ecuación, ésta todavía no discrimina entre los grupos vegetales, por lo que para reducir el impacto de las gramíneas en el aporte de la EM de la dieta se incorporó la siguiente ecuación

$$Emg = (Bg * A * .08) * Ebg * DIVMS * 0.82 \quad (2)$$

Emg = Energía metabolizable de las gramíneas. Bg = Biomasa de las gramíneas (kg/ha). A = Área (hectáreas). Ebg = Energía bruta de las gramíneas (Mcal/kg). $DIVMS$ = digestibilidad in vitro de la Materia seca (g/kg). 0.82 = Factor de conversión de energía digestible a metabolizable

La ecuación anterior reduce el aporte de energía metabolizable de las gramíneas a solo el ocho por ciento, que es el valor máximo de consumo de materia seca de este grupo vegetal

reportado en la literatura. Dicho ajuste se incorporó en la siguiente ecuación y generó un modelo de capacidad de carga que restringe la energía metabolizable de las gramíneas y evita la sobreestimación de esta cuando hay un exceso de pasto en el área de estudio (13) (3).

$$K = \sum_{1...n} \frac{Em_{fu} * A * 0.35 + Emg}{\sum_{1...M} MEV_d}$$

K es la capacidad de carga (venados de 60 kg/ha). Em_{fu} = Energía metabolizable del forraje útil proveniente de las herbáceas, arbustivas y parcialmente de las arbóreas y va, de la especie vegetal 1 hasta n (kcal/ha). A = área total del predio (ha). 0.35 = aprovechamiento máximo permitido del forraje para evitar su desaparición. MEV_d = Metabolismo ecológico de un día juliano X de un venado de 60 kg (kcal/día). m = Día juliano. Finalmente se incluyó el factor de corrección de la cobertura de escape, el cual fue estimado de la siguiente manera:

$$C_{ce} = \frac{I}{19.05118} \quad (4)$$

Cuando se resuelve la ecuación generada utilizando un valor de cobertura de escape igual a uno, se obtiene un valor de 19.05118 este valor representa el número de indicios (heces fecales) que tiene más del 50% de posibilidad de encontrarse en un área de muestreo, por tal razón al dividir la n obtenida en la ecuación sobre el mismo número se obtiene un valor de uno que significa que la cobertura de escape no es limitante para la presencia del venado cola blanca, por el contrario cuando se resuelve la ecuación con valores menores a 0.55 (menos

del 55% de cobertura de escape) la ecuación devuelve valores o negativos o cercanos a cero, lo cual al multiplicar el resto de los estimadores devuelve un valor de cero, que significa que ese hábitat no tiene la cobertura de escape suficiente para albergar al venado y por lo tanto la capacidad de carga del mismo tiende a cero. Finalmente se obtuvo la siguiente ecuación:

$$K = \sum_{1...n} \frac{Em_{fu} * A * 0.35 + Emg * C_{ce}}{\sum_{1...M} MEV_d} \quad (5)$$

Em_{fu} = Energía metabolizable del forraje útil proveniente de las herbáceas, arbustivas y parcialmente de las arbóreas y va, de la especie vegetal 1 hasta n (kcal/ha). A = área total del predio (ha). 0.35 = aprovechamiento máximo permitido del forraje para evitar su desaparición (g/kg). MEV_d = Metabolismo ecológico de un día juliano X de un venado de 60 kg (kcal/día). m = Día juliano. C_{ce} = Coeficiente de corrección de cobertura de escape (cm/m).

Adicionalmente, se decidió generar una ecuación alterna que utilice básicamente la biomasa ponderada por el tipo de grupo vegetal, de tal forma que el aporte de las gramíneas siga siendo limitado al 8% del consumo total del animal. En la siguiente ecuación se reemplaza el aporte de la energía metabolizable de los grupos vegetales por su biomasa y se reemplaza el metabolismo ecológico del venado por su consumo máximo de biomasa en función de FDN y peso vivo del animal (34).

$$K = \frac{\sum_{i...n} Bu * A * 0.35 + Bg * C_{ce}}{\sum_{1...m} RmsV_d}$$

K = Capacidad de carga (venados/ha). B_u = Biomasa útil (kg/ha) 1 hasta n; n = grupos vegetales (arbóreas, herbáceas y arbustivas; kg/ha). B_g = Biomasa disponible de gramíneas (kg/ha).

Donde: $Bg = Btg * 0.08 * A$ donde Btg son los Kg/ha de gramíneas. C_{ce} = factor de corrección de la cobertura de escape. $RmsV_p$ = Consumo máximo de biomasa en función de FDN y peso vivo del animal (34).

Finalmente, Se realizó un análisis de sensibilidad (14) de las ecuaciones anteriores siguiendo la técnica descrita por Bossel (1994). Como se esperaba, en contraste con los modelos tradicionales, el modelo generado en este trabajo no modifica la K en función de la biomasa aportada por las gramíneas ni por la biomasa total del hábitat, lo cual es explicado por las restricciones de uso de las gramíneas como función de disponibilidad de las arbóreas y las arbustivas. Dicha restricción se justifica por la naturaleza selectiva del venado, el cual tiene la habilidad de consumir diferentes tipos de arbustivas y herbáceas a lo largo del año, sin necesidad de consumir pastos, El mismo análisis reveló que la cobertura de escape tiene un papel importante dentro del modelo para modificar la K . los componentes principales que modifican la distribución del venado dentro del hábitat son la cobertura de escape, obstrucción visual y densidad de la vegetación, los cuales pueden explicar en gran medida la varianza de la distribución de esta especie dentro de un sitio dado (29). El peso vivo del animal muestra un valor de cambio negativo que adicionalmente en el modelo modificado es

mayor que en el modelo nutricional (ΔK de 0,7). Dichas diferencias son debidas a que; a mayor peso del animal mayor consumo de materia seca y menor capacidad de carga del hábitat. Por otro lado, los modelos nutricionales utilizan el requerimiento de Galbraith et al. (19) para MS, mientras que el modelo modificado utiliza las ecuaciones de Mertens (34).

En conclusión, los modelos de capacidad de carga presentados permiten estimar la misma sin correr el riesgo de sobrestimarla por un exceso de gramíneas en el hábitat y aseguran la posibilidad de que el venado pueda descansar al asegurar la cobertura de escape.

Referencias

1. SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Licencias de caza deportiva y cintillos de cobro cinegético expedidos por temporada cinegética. Disponible en [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIVO3_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIVO3_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=)

2. SEMARNAT; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). Registros de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA). Publicador: 2017-07-03T21:04:09Z. Disponible en: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/registros-de-unidades-de-manejo-para-la-conservacion-de-la-vida-silvestre-uma>

3. McLeod SR. 1997. Is the concept of carrying capacity useful in variable environments? *Oikos* 79:529-542.

4. Ramírez Lozano RG. 2004. Nutrición del venado cola blanca. 1a ed. Universidad Autónoma de Nuevo León, Unión Ganadera Regional de Nuevo León, Fundación Produce Nuevo León, AC, Monterrey, México. 240 pp.

5. Hansen, R. M., Clark, R. C., & Lawhorn, W. (1977). Foods of wild horses, deer, and cattle in the Douglas Mountain Area, Colorado. *Rangeland Ecology & Management/J. of Range Management Archives*, 30(2), 116-118.

6. Stuth JW, AH Winward. 1977. Livestock-deer relations in the Lodgepole pine-pumice region of central Oregon. *J Range Manage.* 30:110-116.

7. Stuth JW, WJ Sheffield. 2001. Determining carrying capacity for combinations of livestock, white-tailed deer and exotic ungulates. In: *Wildlife Management Handbook*. V-A:5 - 12.

8. Bryant FC, MM Kothmann and LB Merrill. (1979). Diets of sheep, angora goats, spanish goats and white-tailed deer under excellent range conditions. *J Range Manage.* 32, 412-417.

9. Deyoung ChA, TE Fulbright, DG Hewitt, DB Wester, DA Draeger. (2019). Linking white-tailed deer density, nutrition, and vegetation in a stochastic environment. *Wildlife Monographs* 202:1-63.

10. Martínez MA, V Molina, F González, S Marroquín, J Navar. 1997. Observations of white-tailed deer and cattle diets in México. *J. Range Manage* 50, 253- 257.

11. Plata FX, S. Ebergeny, JL Resendiz, O Villarreal, R Bárcena, JA Viccon, GD Mendoza. (2009). Palatabilidad y composición química

- de alimentos consumidos en cautiverio por el venado cola blanca de Yucatán (*Odocoileus virginianus yucatanensis*). Arch Med Vet. 41:123-129.
12. Arellano AT. (2013). Traslape de la dieta de *Odocoileus virginianus* (Zimmermann, 1780) y otros herbívoros en una UMA de la Mixteca Poblana. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
13. Behnke RH, I Scoones, C. Kerven, eds. (1993). Range ecology at disequilibrium. New models of natural variability and pastoral adaptation in African savannas. London: Overseas Development Institute & International Institute for Environment and Development. 248 pp
14. Plata FX, GD Mendoza, JA Viccon, Bárcena, FC Sánchez, OA Villarreal. (2011b). Adecuación y análisis de sensibilidad de un modelo para la estimación de la capacidad de carga del hábitat de venado cola blanca. Arch Med Vet 43, 267-275.
15. Mandujano S. 2007. Carrying capacity and potential production of ungulates for human use in a Mexican tropical dry forest. Biotropica. 39:519-524.
16. Hobbs NT, DM Swift. 1985. Estimates of habitat carrying capacity incorporating explicit nutritional constraints. J Wild Manage. 49:814-822.
17. McCall TC, RD Brown, CL Bender. 1997. Comparison of techniques for determining the nutritional carrying capacity for white-tailed deer. J. Range Manage 50, 33 -38.
18. Robbins CT. 1973. The biological basis for the determination of carrying capacity. Doctoral dissertation, Cornell University, Ithaca, NY.
19. Galbraith JK, GW Mathison, RJ Hudson, TA McAllister, KJ Cheng. 1998. Intake, digestibility, methane and heat production in bison, wapiti and white-tailed deer. Can J. Anim Sci. 78:681 - 691.
20. Paladines O, CE Lascano. 1983. Recomendaciones para evaluar germoplasma bajo pastoreo. En: Lascano CE (ed). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas, Vol. 1. CIAT, Colombia. Pp. 165-183.
21. Moen AN. 1978. Seasonal changes in heart rates, activity, metabolism, and forage intake of white-tailed deer. J Wild Manage 42:715 - 738.
22. Clemente SF. 1984. Utilización de la vegetación nativa en la alimentación del venado cola-blanca (*Odocoileus virginianus* hays) en el estado de Aguascalientes. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. PP 87.
23. Plata FX, GD Mendoza, JA Viccon, R Bárcena, F Clemente. (2011a). Comparación de métodos basados en los requerimientos nutricionales y disponibilidad de biomasa para estimar la capacidad de carga para venado cola blanca. Arch Med Vet 43: 41-50.
24. Rosenstock SS, WB Ballard, JC Devos Jr. 1999. Viewpoint: Benefits and impacts of wildlife water developments. J Range Manage. 52:302-311.
25. Villarreal, J. 1999. Venado Cola Blanca: Manejo y Aprovechamiento Cinegético. Unión Ganadera Regional de Nuevo León. Monterrey, N. L., México.

26. Villarreal-Espino OA, FX Plata-Pérez, JC Camacho-Ronquillo, JE Hernández-Hernández, FJ Franco-Guerra, B Aguilar-Ortega, GD Mendoza-Martínez. (2011). El Venado Cola Blanca en la mixteca poblana. *Therya*. 2(2):103-110.
27. Villarreal-Espino OA, FX Plata-Pérez, GD Mendoza-Martínez, JA Martínez-García; PA Hernández-García, JL Arcos-García. (2012). Distancia radial al agua, cobertura de escape e indicios de coyote (*Canis latrans*), asociados a la presencia del venado Cola blanca (*Odocoileus virginianus*). *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 18 (2): 231-239.
28. Pollock MT, DG Whittaker, S Demarais, RE Zaiglin. (1994). Vegetation characteristics influencing site selection by male white-tailed deer in Texas. *J Range Manage*. 47:235-239
29. Deperno CS, JA Jenks, SI Griffin; LA Rice, KF Higgins. (2002). White-tailed deer habitats in the central black hills. *J Range Manage*. 55:242-252.
30. Bello J, S Gallina, M Equihua. (2001). Characterization and habitat preferences by white-tailed deer in Mexico. *J Range Manage*. 54:537-545.
31. Atle Myrnerud A, Østbye E. (1999) Cover as a Element for Temperate Ungulates: Effects on Habitat Selection and Demography. *Wildlife Society Bulletin*. 27 (2): 385-394
32. Short HL. 1986. Habitat suitability index models: White-tailed deer in the Gulf of Mexico and South Atlantic coastal plains. *US Fish Wildl. Serv. Biol. Rep*. 82 (10.123):36
33. Avey JT, WB Ballard, MC Wallace, MH Humphrey, PR Krausman, F Harwell, EB Fish. (2003). Habitat Relationships between Sympatric Mule Deer and White-Tailed Deer in Texas. *The Southwestern Naturalist*. 48:644-653.
34. Mertens DR. (1987). Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J Anim Sci*. 64(5):1548-58. doi: 10.2527/jas1987.6451548x.
35. Bergman C, Fryxell J, Gates C, Fortin D. (2008). Ungulate foraging strategies: Energy maximizing or time minimizing? *J. Anim. Ecol*. 70. 289 - 300. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2001.00496.x

**Evaluación de
interrelucinas pro y
antiinflamatorias en
glándula mamaria de
cabras infectadas
experimentalmente con
*Staphylococcus
chromogenes***

Rocío Angélica Ruiz Romero *

Roberto Arnulfo Cervantes

Olivares

Efrén Díaz Aparicio

Andrés Ernesto Ducoing-Watty

Daniel Martínez-Gómez

Correo electrónico: rarr2212@unam.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del**

14 de junio de 2022

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los niveles de expresión relativa de los genes de las citocinas IL-1B, IL-8, IL-12, IFN- γ , IL-4, IL-10 y TGF- β en células somáticas de leche de cabras raza Alpina Francesa, primas e infectadas experimentalmente en la glándula mamaria izquierda con *Staphylococcus chromogenes* durante el pico de la lactación. Se realizaron muestreos de leche de ambas glándulas durante 21 días consecutivos post-infección, se extrajo el ARN total y se empleó la técnica de PCR en tiempo real utilizando primers específicos para cada citocina los cuales fueron diseñados para este estudio. La expresión relativa del ARN de las citocinas evaluadas fue determinada por el método comparativo $2^{-\Delta\Delta CT}$. Las expresiones de la IL-1B e IL-12 mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) desde las 24 hrs post-infección hasta el secado con respecto al grupo control, por último, IFN- γ aumenta su expresión al disminuir la expresión de IL-10 ($p < 0.05$).

Palabras clave: Cabras, mastitis, *Staphylococcus chromogenes*, interleucinas, RT-PCR.

Introducción

La mastitis es una de las enfermedades más importantes dentro de la industria lechera, ocasiona pérdidas económicas por la disminución en la cantidad y calidad de la leche producida, incrementando los costos de producción debido a los servicios médicos veterinarios, además del tratamiento y desecho de los animales (1,2,3,4). Los distintos patógenos que causan mastitis inducen distintas respuestas inmunes en la glándula mamaria, por lo tanto, el hospedero requiere una respuesta altamente específica dependiendo del patógeno para brindar una protección adecuada. Debido a esto, los patógenos han desarrollado varias estrategias para alterar y evadir las defensas del hospedero para sobrevivir. Las especies de *Staphylococcus* que se han reportado con mayor frecuencia como causa de mastitis en cabras incluyen a *Staphylococcus chromogenes*, *S. xylosus* y *S. simulans*. En el caso de *S. chromogenes*, distintos estudios *in vitro* han demostrado que es la más virulenta de los SCN (5). La exposición hacia *Staphylococcus* spp, generalmente conlleva a la generación de una respuesta inmune humoral y celular que culmina con la eliminación del patógeno, sin embargo, bajo ciertas circunstancias, la bacteria sobrevive en el hospedero e induce enfermedades persistentes. (6, 7, 8 9,10).

Metodología

I. INFECCIÓN EXPERIMENTAL DE LAS CABRAS

1. ENSAYO DE INFECCIÓN *in vitro*

Para la infección experimental de las cabras se

utilizó un aislado de *Staphylococcus chromogenes* obtenido de un caso de mastitis crónica en una cabra de la raza Alpina Francesa. Para evaluar que la bacteria seleccionada causara daño celular, se realizó un ensayo de infección *in vitro* en un cultivo celular de células epiteliales de quinta generación de glándula mamaria de bovino.

2. MANEJO DE LAS CABRAS E INFECCIÓN EXPERIMENTAL

Se utilizaron 2 cabras de la raza Alpina Francesa, se tomaron un total de 38 muestras de leche por cada cabra, los muestreos se comenzaron a realizar a partir del parto con un muestreo semanal (nueve muestreos en total) hasta llegar al pico de lactación (aproximadamente a los 56 días post-parto), al alcanzar la máxima producción de leche, se realizó la infección experimental, a partir de este día, se realizaron muestreos por 21 días seguidos, al terminar este lapso, se regresó a los muestreos semanales hasta el final de la lactación (8 muestreos). Con la cepa resguardada y reactivada previamente a través de cultivo celular, se obtuvo la dosis infectante de 2.1×10^6 UFC (5). Se inocularon las glándulas izquierdas de cada cabra con la dosis infectante de *S. chromogenes* resuspendida en 6 mL de SSF estéril, los medios derechos fueron inoculados con 6 mL de SSF estéril.

II. REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA EN TIEMPO REAL (qRT-PCR)

1. qRT-PCR PARA CUANTIFICAR BACTERIAS A PARTIR DE MUESTRAS DE LECHE

Para conocer la carga bacteriana en cada una de las muestras de leche desde el día cero de la infección hasta el último muestreo antes del secado, se obtuvo ADN de 1 mL de muestra de

leche y se realizó el conteo de bacterias utilizando los iniciadores del gen de la proteína extracelular específico para *S. chromogenes*.

2. CUANTIFICACIÓN DE INTERLEUCINAS EN LECHE DE CABRAS INFECTADAS EXPERIMENTALMENTE

Se cuantificó la concentración del ARN de células somáticas por medio de espectrofotometría a una absorbancia de 260 nm (DO_{260}) y se evaluó la pureza determinando la proporción DO_{260}/DO_{280} que se encuentra entre 1.9 y 2. Para sintetizar el ADN complementario (cDNA) se utilizó un kit comercial de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Los iniciadores utilizados para las interleucinas IL1 β , IL8, IL12, IFN- γ , IL4, IL10 y TGF- β , así como para la enzima gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GADPH) utilizada como normalizador en la qRT-PCR, fueron diseñados utilizando el programa DNAMAN versión 7.02 (Cuadro 1). Para el análisis de expresión del ARNm, se utilizó el método comparativo ΔCT empleando como calibrador las muestras de leche de la glándula mamaria sin infectar y como control endógenos el gen del Gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GAPDH). (11).

III. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para determinar la significancia estadística de los transcritos del ARNm entre las glándulas infectadas y las glándulas control se utilizó la prueba de Wilcoxon para datos no paramétricos, para conocer la correlación entre interleucinas y las UFC se utilizó la correlación de Spearman con el software GraphPad Prism Versión 7.0

Resultados

Para realizar el conteo de las interleucinas pro y antiinflamatorias se seleccionaron días de muestreo que pudieran representar la respuesta inmune en la glándula mamaria en etapa aguda y crónica de la enfermedad, los días seleccionados fueron el 3, 19, 70 y 77 post-infección. Se obtuvieron las diferencias en la magnitud de la expresión de las siete interleucinas evaluadas del grupo infectado entre al grupo control con respecto al día cero de la infección, es decir, antes de que la respuesta inmune de la glándula mamaria fuera estimulada. En el día tres la IL1 β , IL8, IL12 y TGF- β tuvieron expresión estadísticamente significativa con respecto al grupo control ($P < 0.05$). En los días 19 y 70 post-infección, la IL1 β , IL12, IFN- γ , IL10 y TGF- β mostraron diferencias con respecto al grupo control ($P < 0.05$) y en el día 77, la IL1 β , IL12, IFN- γ e IL10 mantuvieron diferencias con respecto al grupo control ($P < 0.05$). La IL1 β presenta diferencias en su expresión en el día 3 y 19 con respecto a los días 70 y 77 ($P < 0.05$), la IL8 presenta diferencias significativas entre el día 3 y el día 70, así como en el día 19 y 77 ($P < 0.05$). La IL12 solamente presenta diferencias en su expresión entre el día 3 y 77 ($P < 0.05$), en cuanto al IFN- γ el día 3 presentó diferencias significativas con respecto a los días 19, 70 y 77, así como en el día 19 con respecto al 77 ($P < 0.05$). En cuanto a las interleucinas antiinflamatorias, la IL4 únicamente muestra diferencia entre el día 3 y 77 ($P < 0.05$), la IL10, presenta diferencias el día 19 con respecto a los días 70 y 77 ($P < 0.01$), así como el día 70 con

respecto al día 77 ($P < 0.001$). Por último, el TGF- β , únicamente hay diferencia en la expresión entre el día 3 y 70 ($P < 0.05$) (Cuadro 2).

Discusión

En el conteo bacteriano, utilizando el gen de la proteína extracelular de *S. chromogenes*, se comprobó la presencia bacteriana en la glándula, desde las primeras 24 horas post-infección, hasta el último muestreo de leche antes del secado de las cabras. En infecciones experimentales en seis bovinos Holstein realizadas por Simojoki y col. (2009) (5), utilizando aislados de *S. chromogenes*, reportaron que todos los animales alcanzaron un pico de crecimiento bacteriano a las 8 horas post-infección, 46 horas después, no detectaron crecimiento bacteriano en medios de cultivo, excepto en un animal que continuó eliminando bacterias hasta 14 días post-infección, la dosis utilizada por Simojoki y col. (2009) (5) fue la dosis utilizada en este estudio, en ambos se logró infectar a la glándula mamaria a pesar de trabajar con especies animales distintas y en ambos, los animales desarrollaron mastitis subclínica, no presentaron cambios físicos visibles en la glándula mamaria, ni ninguna signología clínica; si bien, las vacas lograron eliminar la infección, se debe considerar que las cepas utilizadas son distintas por lo que pueden existir diferentes factores de virulencia que contribuyan a la presentación de mastitis crónica y a la eliminación de los microorganismos en los animales (12). En esta

investigación se demostró por métodos bacteriológicos tradicionales y métodos moleculares la presencia de la bacteria en la glándula mamaria. Al comparar la expresión de genes de interleucinas con respecto al control, se observó que en el día tres post-infección, ocurrió una mayor expresión de IL1 β , IL8, IL12 y TGF- β con respecto al grupo control. En cuanto a la expresión de TGF- β , esta citocina, además de tener una actividad antiinflamatoria regula el desarrollo de la glándula mamaria, actúa sobre macrófagos y otros tipos celulares al inhibir las respuestas proinflamatorias, al disminuir la producción de citocinas y quimiocinas proinflamatorias (13). La IL10, se expresó de manera significativa el día 19 post-infección, IL10 es producida por macrófagos y actúa durante la infección aguda o crónica previniendo la producción de citocinas proinflamatorias, quimiocinas y debilita a las células presentadoras de antígenos, los linfocitos T, disminuyendo la expresión de MHC-II (14), también disminuye la respuesta excesiva de TH1 caracterizada por una sobreproducción de IFN- γ y TNF α , reduce la inflamación y disminuye los cambios patológicos regulando las respuestas TH2 para evitar la sobreproducción de IL4, IL5 e IL13 que pueden llevar a fibrosis severas, esta podría ser la razón por la cual la IL4 no se encuentra sobreexpresada en las glándulas infectadas. Tanto en el día 19 como en el día 70 post-infección se encontraron sobreexpresadas IL1 β , IL12, IFN- γ , IL10 y TGF- β . El sistema inmune innato no fue capaz de controlar la infección y eliminar a *S. chromogenes*, por el patrón

expresado de interleucinas, es probable que haya predominado una respuesta de tipo TH1.

Conclusiones

1. La glándula mamaria fue incapaz de eliminar al agente infeccioso a lo largo de la lactación.
2. Se estudiaron las interleucinas pro y antiinflamatorias, encontrándose que las interleucinas antiinflamatorias no se encuentran sobreexpresadas hacia el final de la lactación, por lo que se recomienda realizar estudios en donde se puedan medir las interleucinas en dos o tres lactaciones subsecuentes para poder esclarecer el fenómeno de persistencia bacteriana.
3. Es necesario conocer los mecanismos de evasión que presenta *S. chromogenes* ya que la glándula mamaria fue incapaz de eliminar a este agente a lo largo de la lactación.
4. Es necesario trabajar con un mayor número de animales para que sean significativos los resultados.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el proyecto PAPIIT IN2203143 (DGAPA/UNAM).

Laboratorio de Microbiología Agropecuaria de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco.

Laboratorio de Micología del Departamento de Microbiología e Inmunología y el laboratorio de Enseñanza del Departamento de Medicina y Zootecnia de Rumiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEIPSA) de la FMVZ-UNAM.

Referencias

1. Amezcua MA, (1981). Prevalencia de mastitis subclínica en hatos caprinos en la zona central del bajío. (Tesis de licenciatura) México (CDMX) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.
2. Bonilla CS, Rosas MS, Hernández AL, Díaz AE, Villa GR, Hernández ZJS, (2003). Agentes etiológicos involucrados en la mastitis subclínica en cabras lecheras. Memorias del XXVII Congreso Nacional de Buiatria; Villahermosa (Tabasco) México.
3. Oviedo BJ, Valdés AJ, Cajero JM, Ochoa ZA, López MJ, Bravo PA, Baizabla AV, (2007). Innate immune response of bovine mammary gland to pathogenic bacteria responsible for mastitis. *J Infect*; 54: 399-409.
4. Wanecka A, Król J, Twardón J, Mrowiec J, Korzeniowska-Kowal A, Wzorek A, (2019). Efficacy of MALDI-TOF mass spectrometry as well as phenotypic methods in identification of *Staphylococci* other than *Staphylococcus aureus* isolated from intramammary infections in dairy cows in Poland. *J Vet Diagn Invest*; 31: 523-530.
5. Simojoki H, Orro T, Taponen S, Pyörälä S, (2009). Host response in bovine mastitis experimentally induced with *Staphylococcus chromogenes*. *Vet Microbiol*; 134: 95-99.
6. Paape M, Mehrzad J, Zhao X, Detilleux J, Burvenich C, (2002). Defense of the bovine mammary gland by polymorphonuclear

neutrophil leukocytes. *Mammary Gland Biol Neoplasia*; 7: 109-121.

7. Nogueira de Souza F, Ramos-Sánchez EM, Heineman MB, Ake-Gidlund M, Campos-Reis L, García-Blagitz M, Della-Libera AM, Pinho-Cerqueira MM, (2012). The innate immunity in bovine mastitis: the role of pattern-recognition receptors. *Am J Immunol*; 8: 166-178.

8. Thompson-Crispi K, Atalla H, Miglior F, Mallard B, (2014). Bovine mastitis: frontiers in immunogenetics. *Front Immunol*; 5: 10.

9. Pirzada M, Malhi KK, Kamboh AA, Rind R, Abro SH, Lakho SA, Bhutto KR, Huda N, (2006). Prevalence of subclinical mastitis in dairy goats caused by bacterial species. *J Anim Health Prod*; 4: 55-59.

10. Manzanero-Martínez SP, Ruiz-Romero RA, Cervantes OR, Espinosa OV, Ducoing WA, (2018). Identification of and antimicrobial resistance in bacteria causing caprine mastitis in three states and a city in

Central Mexico under manual and mechanical milking conditions. *J Dairy Vet Anim Res*; 7: 115-118.

11. Livack KJ, Schmiigen TD, (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta ct}$ method. *Methods*; 402-408.

12. Piccart K, Verbeke J, De Visscher A, Piepers S, Haesebrouck F, De Vliegher S, (2016). Local host response following an intramammary challenge with *Staphylococcus fleuretti* and different strains of *Staphylococcus chromogenes* in dairy heifers. *Vet Res*; 47-56.

13. Persson-Waller K, Colditz IG, Seow HF, (1997). Accumulation of leucocytes and cytokines in the lacting ovine udder during mastitis due to *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Res Vet Sci*; 63-66.

14. Couper K, Blount D, Riley E, (2007). IL-10: The master regulator of immunity to infection. *J Immunol*; 5771-5777.

Transdisciplinarietà en investigación avanza la medicina veterinaria y zootecnia

**Adalberto Ángel Pérez de
León**

Correo electrónico:
beto.perezdeleon@usda.gov

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
28 de junio de 2022**

Palabras clave: medicina veterinaria y zootecnia, ciencia y tecnología, investigación transdisciplinaria, Una Salud.

RESUMEN

Adaptaciones del estudio y práctica de la medicina veterinaria y zootecnia incluyen la transdisciplinarietà en investigación científica. Tal proceso facilita ir más allá de los límites de cada disciplina científica ,promoviendo la investigación en salud animal y sistemas de producción pecuaria, lo cual aborda temas complejos incluyendo perspectivas diversas para crear un enfoque holístico. Esto ayuda a enfrentar retos existenciales relacionados al cambio global como la seguridad alimentaria. El médico veterinario zootecnista contribuye al bienestar humano multidimensionalmente, pues su actividad también incide en la salud pública asegurando la higiene de los alimentos, controlando enfermedades zoonóticas, y mejorando el medio ambiente. Esfuerzos transdisciplinarios en la historia y gestión de la medicina veterinaria comprenden el concepto de “Una Sola Salud” que resalta la interfaz entre salud humana, animal y de los ecosistemas para poder alcanzar el bienestar universal. Esta sinopsis ejemplifica como la transdisciplinarietà en la investigación permite el avance en la medicina veterinaria y zootecnia.

Introducción

Enfrentamos retos existenciales muy complejos relacionados al cambio global. Estos retos incluyen la seguridad alimentaria (1). El crecimiento continuo de la población mundial incrementa la demanda de fuentes confiables de alimentos de calidad. Como pilar en la producción de alimentos inocuos y de alta calidad nutritiva, la agricultura requiere un re-enfoque en su gestión para incrementar la productividad de manera sostenible manteniendo los servicios ecosistémicos y la biodiversidad (2). Las plagas, enfermedades, recursos naturales, y el cambio climático son algunos de los factores que impactan la productividad agropecuaria (3).

El médico veterinario y zootecnista desempeña un rol fundamental en la producción pecuaria. Esta es un pilar de la agricultura y clave para el desarrollo sostenible de la humanidad. En diversas sociedades del mundo los productos derivados de los animales son la fuente principal de proteína y otros nutrientes. La contribución del veterinario al bienestar humano es multidimensional pues su actividad también incide en la salud pública, asegurando la higiene de los alimentos, previniendo y controlando enfermedades zoonóticas, y mejorando el medio ambiente (4). Alrededor del 70% de las enfermedades infecciosas humanas son zoonóticas. El ejercicio profesional de médicos veterinarios zootecnistas suma esfuerzos para alcanzar los objetivos incorporados en la Agenda 2030 del Desarrollo Sostenible (3). Además, la gestión del veterinario es pieza clave en el concepto de “Una Sola Salud” que resalta la interfaz entre la

salud humana, animal, y de los ecosistemas para poder alcanzar la salud y el bienestar universal (5,6).

Diversos patógenos y parásitos causan enfermedad en el ganado incluyendo a los bovinos (7,8,9). La morbilidad y mortalidad asociada con éstas enfermedades merma la productividad pecuaria (10). Siendo muchas de estas enfermedades zoonóticas y de importancia en salud pública. Dependiendo de su rango geográfico e impacto internacional, algunas de éstas enfermedades son transfronterizas (11). Alrededor del 75% de las enfermedades emergentes y re-emergentes son zoonóticas y pueden afectar a varias especies animales de importancia pecuaria. Múltiples especies de artrópodos parasíticos, algunas de ellas invasoras, y de relevancia veterinaria sirven como vectores de patógenos zoonóticos emergentes y re-emergentes (12,13,14).

La transdisciplinariedad es un proceso que facilita ir más allá de los límites de cada disciplina promoviendo investigación que aborda temas complejos incluyendo perspectivas diversas para crear un enfoque holístico (15). Un ejemplo del proceso de transdisciplinariedad es la aplicación de “Una Sola Salud” para atender el tema de las enfermedades zoonóticas emergentes y re-emergentes. La historia y gestión de la medicina veterinaria enmarcan esfuerzos transdisciplinarios. Investigación entre Theobald Smith, un doctor humano, y Frederick L. Kilbourne, un médico veterinario, a finales del siglo XIX demostró que la garrapata que ahora se conoce como *Rhipicephalus annulatus* era vector del

protozooario *Babesia bigemina* que causa babesiosis en bovinos (16). Este descubrimiento monumental en la historia de la ciencia dio pauta a otros estudios que documentaron el impacto en medicina veterinaria y salud pública de enfermedades causadas por patógenos transmitidos por artrópodos. Otro ejemplo es el trabajo científico ejecutado por los entomólogos Edward Knipling y Raymond Bushland que se tradujo en el desarrollo de la técnica del insecto estéril, (17). Esta técnica fue aplicada para la erradicación del gusano barrenador del ganado (GBG) en Norte y Centro América (18). El Centro Conjunto de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Organismo Internacional de Energía Atómica adaptaron esta técnica, considerada respetuosa con el medio ambiente, para controlar otras plagas que afectan la productividad agrícola y la salud pública incluyendo a los mosquitos que causan estragos en sectores vulnerables de la sociedad como vectores de agentes infecciosos que causan diversas enfermedades (19).

Esta sinopsis ejemplifica trabajos de investigación transdisciplinarios relacionados con la medicina veterinaria y zootecnia. El enfoque es el abordaje de la transdisciplinariedad por diversos equipos científicos donde se refleja la práctica de Una Salud. Evidentemente, la aplicación de investigación transdisciplinaria contribuye al avance de la medicina veterinaria y zootecnia.

Métodos

Investigación en equipo por el autor que abarca más de tres décadas fue revisada para determinar parámetros de transdisciplinariedad (20). Esta sinopsis hace referencia a trabajos seleccionados con base en: 1) convergencia de varias ciencias en contexto de la medicina veterinaria y zootecnia para vincular investigación colaborativa con el fin de resolver problemas en salud animal y producción pecuaria; 2) abordaje de problemas relacionados a la salud pública veterinaria con base en “Una Sola Salud” 3) complementariedad científica para traslación de la investigación. Los trabajos seleccionados se analizaron para evidenciar la investigación transdisciplinaria.

La información también se evaluó con base en el desempeño transdisciplinario (21). Esto facilitó comentarios sobre el impacto del proceso de transdisciplinariedad. El análisis se sintetizó para discutir como la generación de conocimiento científico por este abordaje promueve el avance de la medicina veterinaria y la zootecnia.

Resultados

Esta sinopsis es un relato parcial de información acumulada desde finales de la década de 1980. Varios trabajos y proyectos de investigación en equipo cubrieron los parámetros establecidos para considerarlos como transdisciplinarios. Este sitio lista las publicaciones analizadas: <https://www.researchgate.net/profile/Adalber>

to-Perez-De-Leon. Con base en la información recopilada, se analizan los siguientes casos:

1) La africanización de las abejas europeas en México generó un caso relevante de transdisciplinariedad en investigación que continúa siendo de importancia en medicina veterinaria y zootecnia. Trabajo de campo en equipo entre 1987 y 1991 permitió la vivencia del proceso de africanización de las abejas en apiarios donde se hizo investigación en los estados de Tabasco y Veracruz. La complejidad del problema requirió interacción con agrónomos, epidemiólogos, veterinarios, sociólogos, entomólogos y la práctica de diplomacia científica. Colaboración con productores que apoyaron el proyecto científico de nuestro equipo internacional facilitó el extensionismo y mejoró nuestro entendimiento de la gran importancia socioeconómica y ecológica de la apicultura en México.

2) Estomatitis vesicular en equinos y hatos bovinos. Comenzaron a ocurrir en el oeste de E.U.A. desde la década de 1990. Esto desencadenó estudios transdisciplinarios para entender la epidemiología de la re-emergencia regional de brotes de esta enfermedad zoonótica arboviral. En ese entonces, no era claro si las moscas hematófagas estaban asociadas con los brotes y por lo tanto eran vectores mecánicos o biológicos del virus de la estomatitis vesicular, serotipo New Jersey (VEV-NJ), es por ello que se conformó un equipo que inició esta investigación en 1996 e incluyó veterinarios, entomólogos, virólogos, patólogos, y biólogos moleculares.

3) Campañas en E.U.A. para erradicar y en México para controlar a las garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* y *R. annulatus*. Estas especies son invasoras y vectores de los protozoarios causantes de la babesiosis bovina. Se han llevado a cabo esfuerzos entre 2009 y 2020 para atender esta problemática transfronteriza que afecta las industrias ganaderas de E.U.A. y México que incluyeron: 1) análisis comparativo en el contexto de Una Salud; 2) creación del concepto de erradicación integrada de garrapata para enmarcar propuestas de trabajo en E.U.A. incluyendo problemática con infestaciones en ungulados silvestres; 3) gestión por asociación público-privada para investigación y desarrollo de vacuna contra garrapata para su uso en los E.U.A.; y, 4) fomento de investigación operacional binacional sobre garrapata. Colaboración científica multinacional facilitó el alcance de estos objetivos.

Otro ejemplo es la investigación en ciencias ómicas. La transición a este ámbito científico se dio principalmente por la necesidad de entender la biología molecular de procesos que facilitarían la innovación de tecnologías para controlar plagas, algunas de ellas invasivas, que afectan al ganado y vectores de patógenos de importancia en medicina veterinaria y salud pública. La práctica presentó la oportunidad de efectuar estudios multiómicos. Esta experiencia generó perspectivas para ampliar la aplicación de la transdisciplinariedad en la investigación agrícola.

Discusión

México creó en 1984 el Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana para tratar de minimizar el impacto anticipado a la apicultura y otros sectores agrícolas por la invasión de éste insecto que eventualmente se detectó en Chiapas en 1986 (22). Dada la amenaza que presentaba a la agricultura en Norte América y la importancia del comercio binacional agrícola, México y los Estados Unidos de América (E.U.A.) establecieron en 1987 el Plan Integrado para el Control de la Abeja Africanizada (23). Por medio de la investigación transdisciplinaria se identificó que el parasitismo de colonias de abejas europeas por abejas reinas africanizadas era uno de los factores en el proceso de africanización en México (24). Investigación de campo en 1987 reveló que, en regiones tropicales del país como en zonas del estado de Tabasco, la africanización de abejas europeas se llevó a cabo en pocos meses (25). El estudio, después de tres décadas de su arribo, ha contribuido a la viabilidad de la apicultura como una actividad pecuaria importante en México (26,27).

Con relación a la estomatitis vesicular, el uso del cobayo como modelo de animal de laboratorio permitió documentar que moscas hematófagas de la especie *Culicoides sonorensis*, antes conocida como *C. variipennis*, pueden estar involucradas en los brotes de estomatitis vesicular en el oeste de E.U.A. (28). Estudios donde jehenes se infectaron con VEV-NJ por inoculación intratorácica que mordieron a bovinos, los

cuales seroconvirtieron, confirmaron esta ruta de transmisión viral (29). Investigaciones adicionales documentaron la susceptibilidad de *C. sonorensis* a infección con VEV-NJ por os (30). Aplicación de la información científica generada por estos estudios se reflejó en la implementación de control integrado en establos durante la temporada de insectos para mitigar la transmisión viral a equinos y bovinos por mordedura de moscas hematófagas que pudieran estar infectadas con VEV-NJ. Otros estudios en equipo realizados sobre el tema confirmaron que los vectores hematófagos son más que solo jeringas voladoras, jugando un rol activo en las enfermedades causadas por los patógenos que transmiten, lo cual en varios casos envuelve procesos mediados por factores salivales bioactivos (31,32,33).

Bajo el concepto de “Una Sola Salud”, una hoja de ruta con prioridades para la investigación se produjo como resultado de un coloquio público en el 2009 sobre la problemática con las garrapatas del ganado bovino donde se comparó la situación con la babesiosis humana como enfermedad emergente en los E.U.A (34). Temas de investigación se priorizaron por medio de diálogo entre veterinarios, médicos humanos, epidemiólogos, entomólogos, especialistas en vida silvestre, y ganaderos. La conceptualización de la erradicación integrada ayudó a reconsiderar el enfoque de esfuerzos por el programa federal de los E.U.A. para mantener libre al país de las garrapatas del ganado bovino, *R. microplus* y *R. annulatus* (35). Esto permitió aplicar el concepto de ganadería de precisión a la investigación para

manejo integrado de la garrapata (36). La asociación con la industria privada facilitó la adopción de una vacuna contra las garrapatas por el programa de erradicación en los E.U.A. (37), para lo cual se requirió que la Ley Federal con más de 100 años de antigüedad se modificara para permitir el uso de esa vacuna. Bajo el marco de Reuniones Binacionales, realizadas de forma bianual desde 2009 y hasta 2020, la investigación sobre garrapatas del bovino arrojó una lista de prioridades para el trabajo conjunto con abordaje transdisciplinario entre científicos norteamericanos y mexicanos (38). Estos logros proveyeron el contexto científico y tecnológico de acuerdo entre México y E.U.A. para un programa piloto de erradicación de garrapata en zona fronteriza que se espera contribuya a la comercialización del ganado (39).

Como especies invasivas, la adaptabilidad de las garrapatas del ganado bovino les permite completar su ciclo de vida parasitando a especies de ungulados silvestres nativas y exóticas a Norte América. Esto presenta un gran reto para mantener a los E.U.A. libres de garrapatas del bovino e incrementa el riesgo de un brote de babesiosis bovina causados por *Babesia bovis* o *B. bigemina* que tendría gran consecuencia en la industria ganadera nacional (40). Investigación transdisciplinaria fue requerida para: 1) entender la dinámica de infestación con garrapata, principalmente en el venado cola blanca, *Odocoileus virginianus*, y nilgó, *Boselaphus tragocamelus*, esta última como especie exótica introducida a E.U.A. a

principios del siglo XX (41); y, 2) por lo que hizo necesario desarrollar tratamientos para la infestación con garrapatas en estas especies (42). Estudios etológicos permitieron entender la interfaz de bovinos con venados y nilgós en agroecosistemas y áreas naturales del sur de Texas en la frontera con México (43,44). Modelos desarrollados con tal información ayudaron a entender la dinámica de esas interacciones (45,46). Este conocimiento facilitó la optimización de tecnologías para tratar a los venados cola blanca en zonas de alto riesgo (47). Con la traslación de toda esta investigación se dio inicio al desarrollo de estrategias para controlar infestaciones en el nilgó (48,49).

La investigación transdisciplinaria en plagas invasoras y vectores que afectan al ganado tuvo ramificaciones en otros temas emergentes. El brote de GBG en Florida en el 2016 requirió reevaluar la genética poblacional de esta plaga en zonas endémicas del Caribe para entender el origen de esta emergencia nacional (50). El problema con el cerdo feral precipitó investigaciones de su rol potencial en la emergencia de la Fiebre Porcina Africana en los E.U.A. relacionado a la presencia de la garrapata blanda nativa, *Ornithodoros turicata*, que en estudios de laboratorio se documentó que puede infectarse con el virus de la Fiebre Porcina Africana (51). Por medio de esfuerzos colaborativos internacionales reportamos que el cerdo feral es hospedero del GBG afectando la salud pública veterinaria a nivel transfronterizo en Sudamérica (52). La experiencia atendiendo el descubrimiento de la

garrapata de cuernos largos, *Haemaphysalis longicornis*, en E.U.A. ayudó a comunicar su amenaza a la salud pública y animal en México (53,54). La relevancia para la salud pública de estos temas se refleja en el establecimiento del Grupo de Trabajo en Garrapatas y Enfermedades Transmitidas por Garrapatas

por el Departamento de Salud y Servicios Humanos en E.U.A. para atender la demanda pública relacionada a la epidemia de la enfermedad de Lyme y otras enfermedades zoonóticas transmitidas por garrapatas (55). Estos conceptos aplicados de transdisciplinariedad se plasman en la Figura 1.



Figura 1. Esquema de investigación transdisciplinaria para abordar la complejidad del problema con las garrapatas y enfermedades transmitidas por garrapatas de acuerdo con el concepto de Una Sola Salud.

Avances en biología molecular y plataformas de secuenciación masiva permitieron a nuestro equipo adentrarnos a la investigación en ciencias genómicas. Un catalizador de estos esfuerzos fue la creación del Centro de Genómica de Plagas de Importancia Veterinaria (CGPV) por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los E.U.A. (<https://data.nal.usda.gov/veterinary-pest-genomics-center>). El CGPV aplica la ciencia de grandes datos para evaluar el riesgo y desarrollar contramedidas para las plagas veterinarias invasoras y de alto impacto socioeconómico (56). Colaboración por la red de investigadores relacionados al CGPV

incluyen estudios en genómica (57,58), filogenómica (59,60), microbiómica (61,62), proteómica (63,64), transcriptómica (65,66), lipidómica (67), ecología genómica (68), vacunología reversa (69), y organismos transgénicos (70,71). También se contribuyó a la evaluación científica de la inocuidad y distribución de los alimentos y la nutrición en relación con el impacto del cambio climático en la salud pública de los E.U.A (72). Este esfuerzo se extendió a la investigación multiómica relacionada a aspectos agronómicos, o agrigenómica (73,74).

Si bien el médico veterinario está predispuesto a la transdisciplinariedad, hace falta atención a la concienciación y reforzamiento para la

construcción de capacitación en el contexto de Una Salud. Organizaciones profesionales como la Academia Veterinaria Mexicana que incluyen miembros con experiencia en investigación transdisciplinaria tienen la oportunidad de liderar estos esfuerzos y así promover la excelencia en la educación, ciencia, y difusión de la medicina veterinaria y zootecnia a nivel nacional e internacional.

Agradecimientos

Muchas gracias a mi familia, mentores, y colaboradores por su paciencia y apoyo. En especial a los productores en todos los países donde he tenido la oportunidad de visitar el campo por compartir su sabiduría agrícola. La inspiración recibida siempre ha motivado esfuerzos de aprendizaje continuo investigando y colaborando en equipo para lograr avances en medicina veterinaria y zootecnia, agricultura, y salud pública.

Referencias

1. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Construyendo una visión común para la agricultura y la alimentación sostenibles, principios y enfoques. <http://www.fao.org/3/i3940s/i3940s.pdf>
2. Organización de las Naciones Unidas. (2021). Synthesis of the independent dialogues, report 2 for the Food Systems Summit 2021. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/un_fss_independent_dialogue_synthesis_report_2_o.pdf

3. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS, 20 acciones interconectadas para guiar a los encargados de adoptar decisiones. <http://www.fao.org/3/I9900ES/i9900es.PDF>
4. Briones Dieste, V., Bezos Garrido, J., y Álvarez Sánchez, J. (2018). Concepto y contenidos actuales de Salud Pública y Política Sanitaria veterinarias. *Rev. Esp. Salud Publica*, 92: e201810077.
5. Rojas Chaves, J.A. (2011). Un paradigma holístico y transdisciplinario para el estudio de las zoonosis: medicina de la conservación. *Rev Fac Med*. 59:68-77.
6. Organización Mundial de la Salud. (2021). El grupo tripartito y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente respaldan la definición de Una sola salud proporcionada por el Cuadro de Expertos de Alto Nivel para el Enfoque de Una sola salud. <https://www.who.int/es/news/item/01-12-2021-tripartite-and-unep-support-ohhlep-s-definition-of-one-health>
7. Pereira de Oliveira, R., Hutet, E., Paboeuf, F., Duhayon, M., Boinas, F., Pérez de León, A., Filatov, S., Vial, L., & Le Potier, M. F. (2019). Comparative vector competence of the Afrotropical soft tick *Ornithodoros moubata* and Palearctic species, *O. erraticus* and *O. verrucosus*, for African swine fever virus strains circulating in Eurasia. *PloS one*, 14: e0225657.
8. Romero-Salas, D., Solis-Cortés, M., Zazueta-Islas, H.M., Flores-Vásquez, F., Cruz-Romero,

- A., Aguilar-Domínguez, M., Salguero-Romero, J.L., Pérez de León, A., Fernández-Figueroa, E.A., Lammoglia-Villagómez, M.Á., Becker, I., y Sánchez-Montes, S. (2021). Molecular detection of *Theileria equi* in horses from Veracruz, Mexico. *Ticks Tick Borne Dis.* 12: 101671.
9. Pérez de León, A.A., Mitchell, R.D., 3rd, y Watson, D.W. (2020). Ectoparasites of cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 36: 173–185.
10. Rodríguez-Vivas RI, Grisi L, Pérez de León AA, Villela HS, de Jesús Torres-Acosta JF, Sánchez HF, Salas DR, Cruz RR, Saldierna F, Carrasco DG. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2017;8:61–74.
11. Esteve-Gassent, M.D., Pérez de León, A.A., Romero-Salas, D., Feria-Arroyo, T.P., Patino, R., Castro-Arellano, I., Gordillo-Pérez, G., Auclair, A., Goolsby, J., Rodríguez-Vivas, R.I., y Estrada-Franco, J.G. (2014). Pathogenic landscape of transboundary zoonotic diseases in the Mexico-US border along the Rio Grande. *Front Public Health*, 2:177.
12. Rodríguez-Vivas, R.I., Li, A.Y., Ojeda-Chi, M.M., Bolio González, M.E., y Pérez de León, AA. (2015). Pulgas de importancia veterinaria, en Rodríguez-Vivas, R.I. (ed.) *Manual de técnicas diagnósticas de enfermedades parasitarias en los animales*. Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal. Ciudad de México, México, p.p. 237-257.
13. Modarelli, J.J., Ferro, P.J., Pérez de León, A.A., Esteve-Gasent, M.D. (2019). TickPath Layerplex: adaptation of a real-time PCR methodology for the simultaneous detection and molecular surveillance of tick-borne pathogens. *Sci Rep.* 9:6950.
14. Filatov, S., Krishnavajhala, A., Armstrong, B. A., Kneubehl, A. R., Nieto, N. C., Pérez De León, A. A., y Lopez, J. E. (2020). Isolation and molecular characterization of tick-borne relapsing fever *Borrelia* infecting *Ornithodoros (Pavlovskyella) verrucosus* ticks collected in Ukraine. *J Infect Dis.* 221:804-811.
15. National Research Council. (2014). *Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond*. Washington, DC: The National Academies Press. https://www.researchgate.net/publication/347974769_Convergencia_facilitando_la_integracion_transdisciplinaria_de_las_ciencias_de_la_vida_las_ciencias_fisicas_la_ingenieria_y_mas_alla_traduccion_autorizada
16. Smith, T., y Kilborne, F.L. (1893). *Investigations into the nature, causation and prevention of Texas or Southern Cattle Fever*. US Department of Agriculture Bureau of Animal Industry Bulletin. Washington, D.C., p.p. 1–301.
17. Bushland, R.C., Lindquist, A.W., y Knippling, E.F. (1955). Eradication of screw-worms through release of sterilized males. *Science*, 122:287–288.
18. Hickner, P.V., Mittapalli, O., Subramoniam, A., Sagel, A., Watson, W., Scott, M.J., Arp, A.P., Pérez de León, A.A., y Syed, Z. (2020). Physiological and molecular correlates of the screwworm fly attraction to wound and animal odors. *Sci Rep.* 10:20771.

19. Concha, C., Yan, Y., Arp, A., Quilarque, E., Sagel, A., Pérez de León, A.A., McMillan, W.O., Skoda, S., Scott, M.J. (2020). An early female lethal system of the New World screwworm, *Cochliomyia hominivorax*, for biotechnology-enhanced SIT. BMC Genet. 21(Suppl 2):143.
20. Riveros Argel, P., Meriño Vergara, J., y Crespo Durán, F. 2020. Documento de trabajo numero 2 - Las diversas definiciones de transdisciplina. Universidad de Chile. <https://uchile.cl/u166650>
21. Crespo Durán, F., Aguila Fuentes, D., Meriño Vergara, J., Riveros Argel, P. 2020. Aproximaciones a las metodologías del trabajo interdisciplinario, principales desafíos de la producción de conocimientos en torno a problemáticas complejas. Universidad de Chile. <https://uchile.cl/u171466>
22. Urbina-Romero, R.A., Utrera-Quintana, F., Castillo-González, F., Livera-Muñoz, M., Benítez-Riquelme, I., Villa-Mancera, A.E., Hernández-Hernández, J.E., y Silva-Rojas, H.V. (2019). VALORACIÓN DEL ORIGEN AFRICANIZADO EN LA INTEGRACIÓN DE UNA POBLACIÓN EXPERIMENTAL DE *Apis mellifera* L. Rev. Fitotec. Mex. 42:111-118.
23. Dietz, A., Vergara, C., Pérez de León, A., Butz, V.M. 1989. Africanized honeybees in the Americas. Proc. Int. Conf. Apic. Trop. Climates. 4:471-477.
24. Vergara, C., Dietz, A., Pérez de León, A.A. (1993). Female parasitism of European honey bees by Africanized honey bee swarms in Mexico. J. Apic. Res. 32:34-40.
25. Pérez de León, A.A. (1991). The preference for bait hive size, pheromone lure, and bait hive color by africanized honey bees and the changes in honey bee swarm weights, worker sizes, and drone populations. Tesis para Maestría en Ciencias. University of Georgia, Athens, Georgia, E.U.A.
26. Magaña Magaña, M.A., Tavera Cortés, M.E., Salazar Barrientos, L.L., y Sanginés García, J.R.. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. Rev. Mex. Cienc Agríc. 7: 1103-1115.
27. Guzman-Novoa, E., Morfin, N., De la Mora, A., Macías-Macías, J.O., Tapia-González, J.M., Contreras-Escareño, F., Medina-Flores, C.A., Correa-Benítez, A. y Quezada-Euán, J.J.G. (2020). The process and outcome of the africanization of honey bees in Mexico: lessons and future directions. Front. Ecol. Evol. 8:608091.
28. Pérez de León, A.A., O'Toole, D., y Tabachnick, W.J. (2006). Infection of guinea pigs with vesicular stomatitis New Jersey virus transmitted by *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae). J. Med. Entomol 43: 568–573.
29. Pérez de León, A.A. y Tabachnick, W.J. (2006). Transmission of vesicular stomatitis New Jersey virus to cattle by the biting midge *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae). J. Med. Entomol. 43:323-9.
30. Nunamaker, R.A., Peréz de León, A.A., Campbell, C.L., Lonning, S.M. (2000). Oral infection of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) by vesicular stomatitis virus. J. Med Entomol. 37:784-6.

31. O'Toole, D., Pérez de León, A.A., Hearne, C., McHolland, L., Yun, L., y Tabachnick, W. (2003). Papular dermatitis induced in guinea pigs by the biting midge *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae). *J. Vet. Diagn. Invest.* 15:67-71.
32. Brake, D.K., Wikel, S.K., Tidwell, J.P., y Pérez de León, A.A. (2010). *Rhipicephalus microplus* salivary gland molecules induce differential CD86 expression in murine macrophages. *Parasit Vectors*, 3:103.
33. Temeyer, K.B., Schlechte, K.G., Olafson, P.U., Drolet, B.S., Tidwell, J.P., Osbrink, W., Showler, A.T., Gross, A.D., y Pérez de León, A. A. (2020). Association of salivary cholinesterase with arthropod vectors of disease. *J. Med. Entomol.* 57:1679–1685.
34. Pérez de León, A.A., Strickman, D.A., Knowles, D.P., Fish, D., Thacker, E., de la Fuente, J., Krause, P.J., Wikel, S.K., Miller, R.S., Wagner, G.G., Almazán, C., Hillman, R., Messenger, M.T., Ugstad, P.O., Duhaime, R.A., Teel, P.D., Ortega-Santos, A., Hewitt, D.G., Bowers, E.J., Bent, S.J., Cochran, M.H., McElwain, T.F., Scoles, G.A., Suarez, C.E., Davey, R., Howell Freeman, J.M., Lohmeyer, K., Li, A.Y., Guerrero, F.D., Kammlah, D.M., Phillips, P., Pound, J.M. (2010). One Health approach to identify research needs in bovine and human babesioses: workshop report. *Parasit Vectors*. 3:36.
35. Pérez de León, A.A., Teel, P.D., Auclair, A.N., Messenger, M.T., Guerrero, F.D., Schuster, G., Miller, R.J. (2012). Integrated strategy for sustainable cattle fever tick eradication in USA is required to mitigate the impact of global change. *Front Physiol.* 3:195.
36. Pérez de León, A.A., Mitchell, R.D. III, Miller, R.J., y Lohmeyer, K.H. (2021). Advances in integrated tick management research for area-wide mitigation of tick-borne disease burden, en Hendrichs, J., Pereira, R., y Vreysen, M.J.B. (eds.) *Area-wide integrated pest management: development and field application*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA., p.p. 251-274.
37. Pérez de León, A.A., Mahan, S., Messenger, M., Ellis, D., Varner, K., Schwartz, A., Baca, D., Andreotti, R., Valle, M.R., Cruz, R.R., Domínguez García, D.I., Comas Pagan, M., Oliver Canabal, C., Urdaz, J., Collazo Mattei, F., Soltero, F., Guerrero, F., y Miller, R.J. (2018). Public-private partnership enabled use of anti-tick vaccine for integrated cattle fever tick eradication in the USA, en Garros, C., Bouyer, J., Takken, W., y Smallegange R. C. (eds.) *Pests and vector-borne diseases in the livestock industry*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, p.p. 275–298.
38. Esteve-Gasent, M.D., Rodríguez-Vivas, R.I., Medina, R.F., Ellis, D., Schwartz, A., Cortés Garcia, B., Hunt, C., Tietjen, M., Bonilla, D., Thomas, D., Logan, L.L., Hasel, H., Alvarez Martínez, J.A., Hernández-Escareño, J.J., Mosqueda Gualito, J., Alonso Díaz, M.A., Rosario-Cruz, R., Soberanes Céspedes, N., Merino Charrez, O., Howard, T., Chávez Niño, V.M., y Pérez de León, A.A. (2020). Research on integrated management for cattle fever ticks and bovine babesiosis in the United States and

Mexico: current status and opportunities for binational coordination. *Pathogens*, 9: 871.

39. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Acuerdo México y Estados Unidos programa piloto de erradicación de garrapata en zona fronteriza; contribuirá a comercialización del ganado. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/acuerdo-mexico-y-estados-unidos-programa-piloto-de-erradicacion-de-garrapata-en-zona-fronteriza-contribuira-a-comercializacion-del-ganado?idiom=es>
40. Pérez de León, A.A., Vannier, E., Almazán, C., y Krause, P.J. (2014). Tick-borne protozoa, en Sonenhine, D.E. y Roe, R.M. (eds.) *Biology of Ticks* 2nd Edition, Vol. 2. Oxford University Press, New York, p.p. 147-179.
41. Lohmeyer, K.H., May, M.A., Thomas, D.B., y Pérez de León, A.A. (2018). Implication of nilgai antelope (Artiodactyla: Bovidae) in reinfestations of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) in South Texas: a review and update. *J. Med. Entomol.* 55:515–522.
42. Goolsby, J.A., Singh, N.K., Ortega-S, A., Jr, Hewitt, D.G., Campbell, T.A., Wester, D., y Pérez de León, A.A. (2017). Comparison of natural and artificial odor lures for nilgai (*Boselaphus tragocamelus*) and white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in South Texas: developing treatment for cattle fever tick eradication. *Int. J. Parasitol. Parasites Wild.* 6:100–107.
43. Foley, A.M., Goolsby, J.A., Ortega-S, A., Jr, Ortega-S, J.A., Pérez de León, A., Singh, N.K., Schwartz, A., Ellis, D., Hewitt, D.G., y

Campbell, T.A. (2017). Movement patterns of nilgai antelope in South Texas: implications for cattle fever tick management. *Prev. Vet Med.* 146:166–172.

44. Singh, N.K., Goolsby J.A., Ortega-S Jr, A., Hewitt, D.G., Campbell, T.A., and Pérez de León, A. (2017). Comparative daily activity patterns of nilgai, *Boselaphus tragocamelus* and white-tailed deer, *Odocoileus virginianus* in South Texas. *Subtrop. Ag. Environ.* 68:7–12.
45. Wang, H.H., Grant, W.E., Teel, P.D., Lohmeyer, K.H., y Pérez de León, A.A. (2020). Enhanced biosurveillance of high-consequence invasive pests: southern cattle fever ticks, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, on livestock and wildlife. *Parasit. Vectors*, 13:487.
46. Wang, H.H., Grant, W.E., Teel, P.D., Lohmeyer, K.H., y Pérez de León, A.A. (2021). Simulated dynamics of southern cattle fever ticks (*Rhipicephalus (Boophilus) microplus*) in south Texas, USA: investigating potential wildlife-mediated impacts on eradication efforts. *Parasit. Vectors*, 14:231.
47. Currie, C.R., Hewitt, D.G., Ortega-S, J.A., Schuster, G.L., Campbell, T.A., Lohmeyer, K.H., Wester, D.B., y Pérez de León, A. (2020). EFFICACY OF WHITE-TAILED DEER (*ODOCOILEUS VIRGINIANUS*) TREATMENT FOR CATTLE FEVER TICKS IN SOUTHERN TEXAS, USA. *J. Wild. Dis.* 56:588–596.
48. Goolsby, J.A., Cantu, D., Vasquez, A., Racelis, A.E., Hoffmann, W.C., Jank, P., Garcia, R. III, Shapiro-Ilan, D., Hinojosa, J., Reed, C., Bonilla, D., Ellis, D., y Pérez de León, A. (2019). Development of a remotely activated field sprayer and evaluation of temperature and

- aeration on the longevity of *Steinernema riobrave* entomopathogenic nematodes for treatment of cattle fever tick-infested nilgai. *Subtrop. Agric. Environ.* 70:1–5.
49. Showler, A.T., Pérez de León, A., y Saelao, P. (2021). Biosurveillance and research needs involving area-wide systematic active sampling to enhance integrated cattle fever tick (Ixodida: Ixodidae) eradication. *J. Med. Entomol.* 58:1601–1609.
50. Dupuis, J.R., Guerrero, F.D., Skoda, S.R., Phillips, P.L., Welch, J.B., Schlater, J.L., Azeredo-Espin, A.M.L., Pérez de León, A.A., y Geib, S.M. (2018). Molecular characterization of the 2016 New World screwworm (Diptera: Calliphoridae) outbreak in the Florida keys. *J. Med. Entomol.* 55:938–946.
51. Kim, H.J., Krishnavajhala, A., Armstrong, B.A., Pérez de León, A.A., Filatov, S., Teel, P.D., y Lopez, J.E. (2020). Humoral immune response of pigs, *Sus scrofa domesticus*, upon repeated exposure to blood-feeding by *Ornithodoros turicata* Duges (Ixodida: Argasidae). *Parasit Vectors.* 13:66.
52. Altuna, M., Hickner, P.V., Castro, G., Mirazo, S., Pérez de León, A.A., y Arp, A.P. (2021). New world screwworm (*Cochliomyia hominivorax*) myiasis in feral swine of Uruguay: One Health and transboundary disease implications. *Parasit Vectors.* 14:26.
53. Beard, C. B., Occi, J., Bonilla, D. L., Egizi, A. M., Fonseca, D. M., Mertins, J. W., Backenson, B. P., Bajwa, W. I., Barbarin, A. M., Bertone, M. A., Brown, J., Connally, N. P., Connell, N. D., Eisen, R. J., Falco, R. C., James, A. M., Krell, R. K., Lahmers, K., Lewis, N., Little, S. E., Neault, M., Pérez de León, A.A., Randall, A.R., Ruder, M.G., Saleh, M.N., Schappach, B.L., Schroeder, B.A., Seraphin, L.L., Wehtje, M., Wormser, G.P., Yabsley, M.J., y Halperin, W. (2018). Multistate Infestation with the exotic disease-vector tick *Haemaphysalis longicornis* - United States, August 2017–September 2018. *Morb Mortal Wkly Rep.* 7:1310–1313.
54. Rodríguez-Vivas, R.I., Pérez de León, A.A., y Ojeda-Chi, M.M. (2019). La garrapata de cuernos largos (*Haemaphysalis longicornis*): especie exótica invasora que amenaza la salud pública y animal en México. *Bioagrobiencias,* 12:9–18.
55. U.S. Department of Health and Human Services. (2020). Tick-Borne Disease Working Group 2020 Report to Congress. https://www.hhs.gov/sites/default/files/tbdwg-2020-report_to-congress-final.pdf
56. Coates, B., Poelchau, M., Childers, C., Evans, J.D., Handler, A., Guerrero, F., Skoda, S., Hopper, K., Wintermantel, W., Ling, K., Hunter, W., Oppert, B., Pérez de León, A.A., Hackett, K., Shoemaker, D. (2015). Arthropod genomics research in the United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service: current impacts and future prospects. *Trends Entomol.* 11:1–27.
57. Konganti, K., Guerrero, F.D., Schilkey, F., Ngam, P., Jacobi, J.L., Umale, P.E., Pérez de León, A.A., y Threadgill, D. W. (2018). A whole genome assembly of the horn fly, *Haematobia irritans*, and prediction of genes with roles in metabolism and sex determination. *G3,* 8:1675–1686.

58. Guerrero, F.D., Ghaffari, N., Bendele, K.G., Metz, R.P., Dickens, C.M., Blood, P.D., Tidwell, J., Miller, R.J., Pérez de León, A., Teel, P.D., y Johnson, C. D. (2021). Raw pacific biosciences and illumina sequencing reads and assembled genome data for the cattle ticks *Rhipicephalus microplus* and *Rhipicephalus annulatus*. Data Brief, 35:106852.
59. Mans, B.J., Featherston, J., Kvas, M., Pillay, K.A., de Klerk, D.G., Pienaar, R., de Castro, M.H., Schwan, T.G., Lopez, J.E., Teel, P., Pérez de León, A.A., Sonenshine, D.E., Egekwu, N.I., Bakkes, D.K., Heyne, H., Kanduma, E.G., Nyangiwe, N., Bouattour, A., y Latif, A.A. (2019). Argasid and ixodid systematics: implications for soft tick evolution and systematics, with a new argasid species list. Ticks Tick Borne Dis. 10:219–240.
60. Saelao, P., Hickner, P.V., Bendele, K.G., y Pérez de León, A.A. (2021). Phylogenomics of tick inward rectifier potassium channels and their potential as targets to innovate control technologies. Front. Cel. Infect. Microbiol. 11:647020.
61. Andreotti, R., Pérez de León, A.A., Dowd, S.E., Guerrero, F.D., Bendele, K.G., y Scoles, G.A. (2011). Assessment of bacterial diversity in the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* through tag-encoded pyrosequencing. BMC Microbiol 11:6.
62. Palavesam, A., Guerrero, F.D., Heekin, A.M., Wang, J., Dowd, S.E., Sun, Y., Foil, L.D., y Pérez de León, A.A. (2012). Pyrosequencing-based analysis of the microbiome associated with the horn fly, *Haematobia irritans*. PLoS one, 7:e44390.
63. Renthall, R., Manghnani, L., Bernal, S., Qu, Y., Griffith, W.P., Lohmeyer, K., Guerrero, F.D., Borges, L., y Pérez de León, A. (2017). The chemosensory appendage proteome of *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) reveals putative odorant-binding and other chemoreception-related proteins. Insect Sci. 24:730–742.
64. Shah, J.S., Buckmeier, B.G., Griffith, W., Olafson, P.U., Pérez de León, A.A., y Renthall, R. (2021). Odorant-binding protein from the stable fly (*Stomoxys calcitrans*) has a high-histidine N-terminal extension that binds transition metals. Insect Biochem Mol Biol. 141:103707.
65. Tuckow, A.P., Temeyer, K.B., Olafson, P.U., y Pérez de León, A.A. (2013). Discovery of microRNAs of the stable fly (Diptera: Muscidae) by high-throughput sequencing. J. Med. Entomol. 50:925–930.
66. Domingues, L.N., Solis, G.D., Bendele, K.G., Foil, L.D., Pérez de León, A.A., y Guerrero, F.D. (2020). Sequence and transcript expression of the super-kdr locus of the horn fly, *Haematobia irritans*. Med Vet Entomol. 34:374–378.
67. Renthall, R., Lohmeyer, K., Borges, L., y Pérez de León, A. A. (2019). Surface lipidome of the lone star tick, *Amblyomma americanum*, provides leads on semiochemicals and lipid metabolism. Ticks Tick Borne Dis. 10:138–145.
68. Poelchau, M.F., Coates, B.S., Childers, C.P., Peréz de León, A.A., Evans, J.D., Hackett, K., y Shoemaker, D. (2016). Agricultural applications of insect ecological genomics. Curr. Opin. Insect Sci. 13:61–69.

69. Guerrero, F.D., Andreotti, R., Bendele, K.G., Cunha, R.C., Miller, R.J., Yeater, K., y Pérez de León, A. A. (2014). *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* aquaporin as an effective vaccine antigen to protect against cattle tick infestations. *Parasit Vectors* 7:475.
70. Paulo, D.F., Junqueira, A.C.M., Arp, A.P., Vieira, A.S., Ceballos, J., Skoda, S.R., Pérez de León, A.A., Sagel, A., McMillan, W.O., Scott, M.J., Concha, C., y Azeredo-Espin, A.M.L. (2021). Disruption of the odorant coreceptor Orco impairs foraging and host finding behaviors in the New World screwworm fly. *Sci Rep.* 11:11379.
71. Xu, Q., Guerrero, F.D., Palavesam, A., y Pérez de León, A.A. (2016). Use of electroporation as an option to transform the horn fly, *Haematobia irritans*: a species recalcitrant to microinjection. *Insect Sci.* 23:621–629.
72. Ziska. L., Crimmins, A., Auclair, A., DeGrasse, S., Garofalo, J.F., Khan, A.S., Loladze, I., Pérez de León, A.A., Showler, A., Thurston, J., Walls, I. (2016). Food safety, nutrition, and distribution, en Crimmins, A., Balbus, J., Gamble, J.L., Beard, C.B., Bell, J.E., Dodgen, D., Eisen, R.J., Fann, N., Hawkins, M.D., Herrings, S.C., Jantarasami, L., Mills, D.M., Saha, S., Sarofim, M.C., y Ziska. L. (eds) *The impacts of climate change on human health in the United States: a scientific assessment*. U.S. Global Change Research Program. Washington, D.C., p.p. 189-216.
73. Manter, D.K., Delgado, J.A., Blackburn, H.D., Harmel, D., Pérez de León, A.A., y Honeycutt, C.W. (2017). Opinion: why we need a National Living Soil Repository. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 114:13587-13590.
74. Wallis, C., Chen, J., y Pérez de León A.A. 2021. Mitochondrial genome resource of a grapevine strain of *Trichoderma harzianum*, a potential biological control agent for fungal canker diseases. *PhytoFrontiers*, publicado en línea el 20 de Octubre 2021: <https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-08-21-0052-A>

Estudio de las infecciones lentivirales en ovinos y caprinos en México

Hugo Ramírez Álvarez

Correo electrónico:

ramiralh@unam.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
26 de julio de 2022**

RESUMEN

Las infecciones ocasionadas por lentivirus de pequeños rumiantes (LVPR) están ampliamente distribuidas en los rebaños ovinos y caprinos a nivel mundial. En México, las primeras evidencias de la infección por LVPR fueron documentadas en la década de los 80's. Los estudios realizados en el país se han centrado en la caracterización patológica de la enfermedad, prevalencia serológica, transmisión sexual y transplacentaria, así como en la realización de aislamientos y caracterización genética viral, desarrollo de pruebas diagnósticas y evaluación de inmunógenos. La contribución en la investigación de infecciones lentivirales en México ha sido modesta pero constante. La finalidad de los estudios en esta línea de investigación no vislumbra la posibilidad de erradicar la infección en los rebaños, sin embargo, es posible creer que puede ser factible el control de la infección, favoreciendo la selección de animales infectados y reduciendo los riesgos de transmisión con lo que es posible disminuir las pérdidas económicas.

Palabras clave: Lentivirus de pequeños rumiantes, Maedi Visna, artritis encefalitis caprina, diagnóstico, genotipificación, aislamiento, transmisión, control, prevalencia, inmunógenos.

Introducción

Las infecciones lentivirales en ovinos y caprinos han acompañado a estas especies desde hace más de 9500 años, aparentemente desde que emigraron del Creciente Fértil (Fertile Crescent), lo que ha favorecido que estos virus evolucionaran junto a sus hospederos y aunado a su alto nivel de mutaciones y recombinaciones, han generado una gran diversidad genética que hasta ahora ha permitido el reconocido de más de 30 subtipos virales (1,2). Por otro lado, la ausencia de inmunógenos y tratamientos antivirales han abonado a la falta de control de la infección (3), lo que vinculado al comercio internacional ha permitido que las infecciones lentivirales se hayan expandido a lo ancho del planeta, reconociendo solamente a Islandia como libre de la infección por lentivirus de pequeños rumiantes (antes conocidos como, Artritis Encefalitis Caprina - AEC y Maedi Visna -MV) (1,2). Las pérdidas económicas ocasionadas por las infecciones lentivirales no han sido ampliamente evaluadas y la información con la que actualmente se dispone ha sido regional y de sistemas productivos muy específicos, no obstante, esta información ha documentado la existencia de un impacto productivo negativo, tanto en caprinos como en ovinos (3). Por otro lado, al ser una enfermedad crónica y progresiva, que aparentemente no desarrolla cuadros clínicos en más del 60 % de los animales infectados, genera en el productor una falta de interés y atención al problema (4). Algunos países han puesto en marcha programas de control que han rendido frutos como en el caso de Suiza. En México, las

infecciones lentivirales en caprinos y ovinos fueron reconocidas por autoridades sanitarias en 1997 y 2016 respectivamente, adicionalmente, al no ser consideradas enfermedades que sean importantes por aparentemente ser de bajo impacto económico y no ser zoonóticas, lo que las ha clasificado en el grupo 3 de enfermedades que están incluidas en el listado de reporte obligatorio para el país, no existen programas o apoyos creados para el control de esta infección (4). El diagnóstico que solo unos pocos productores realizan, lo hacen utilizando pruebas serológicas comerciales, además, los productores no solicitan ninguna certificación que declare libre de la infección cuando adquieren animales pie de cría y/o germoplasma. Se acepta que la mejor herramienta con la que se cuenta actualmente para el control de los lentivirus de pequeños rumiantes (LVPR) es el diagnóstico y la aplicación de un estricto manejo sanitario (2). El desarrollo de pruebas de diagnóstico debe considerar la genética viral de los subtipos que se encuentren infectando de forma prevalente a los ovinos y caprinos del país. Es por esto que se hace evidente que es necesario realizar más estudios de prevalencia en los rebaños nacionales que permitan entender mejor la epidemiología, la transmisión y que sean tomados en cuenta para que los productores no sigan favoreciendo la diseminación de la infección. También es muy importante ampliar la caracterización genética de los lentivirus para que esta información se refleje en el desarrollo de herramientas diagnósticas, además de considerar alternativas de selección de animales resistentes a la infección, y que todo

ello, pueda ser considerado y abone en la disminución de la infección y posible erradicación de los lentivirus que infectan pequeños rumiantes en el país.

Métodos

Los primeros estudios serológicos en México se han realizado en caprinos provenientes de diferentes regiones, utilizando pruebas de tipo comercial basadas en Inmunodifusión en gel de agar (IDGA) (5,6) y posteriormente se migro a la utilización de pruebas tipo ELISA (7). En ovinos la detección serológica se ha realizado utilizando IDGA, ELISA y Western blot (8-10). Estudios que han caracterizado las lesiones más frecuentemente halladas en caprinos infectados se han reportado con frecuencia (11,12) y son escasas estas descripciones en ovinos (13,14). Por otro lado, el aislamiento inicial de LVPR se realizó utilizando cultivos primarios de membrana sinovial de fetos caprinos (15) y más recientemente se utilizaron cultivos primarios de testículo y epidídimo (16). La caracterización genética se ha realizado en ovinos y caprinos utilizando PCR-secuenciación a partir de la detección de ADN proviral y serotipificación (17-20). Respecto a la transmisión se han llevado estudios que han identificado el fluido seminal como una fuente de transmisión de LVPR (21,22) y como el sistema reproductivo de machos caprinos alberga la infección (22), también se ha demostrado la presencia de anticuerpos contra LVPR en fetos (23) y la transmisión transplacentaria en ovinos pelibuey (24), y se ha identificado la ausencia de riesgo zoonótico

de estos virus (25). En el ámbito del diagnóstico se han desarrollado diferentes estrategias serológicas tipo ELISA basadas en el uso de péptidos sintéticos y proteínas recombinantes (20,24,26), así como estrategias moleculares utilizando PCRs anidadas genotipo específico (19,20). Las proteínas recombinantes generadas han permitido explorar su posible utilización como inmunógenos utilizando modelos murinos (27).

Resultados

La identificación de lentivirus caprinos (AEC) fue documentada por primera vez en México (1984) cuatro años después del primer aislamiento reportado en el mundo, encontrando seroprevalencias por debajo del 10% con el uso de inmunodifusión en gel de agar (IDAG) (5). Un año más tarde se identificó un 27.1% de seroprevalencia en caprinos con historial de haber sido importados al país (6). En los 90's el primer aislamiento de lentivirus a partir de caprinos (15) fue reportado en México, utilizando cultivos primarios de membrana sinovial de fetos caprinos y se reconfirmo por estudios histopatológicos, de inmunocitoquímica y microscopia electrónica (12), más recientemente utilizando cultivos primarios de testículo y epidídimo se han reportado nuevos aislamientos (16). En ovinos, las primeras evidencias de la infección en esta especie fueron descritas en un estudio patológico de pulmones obtenidos en rastros de la ciudad de México, en donde se identificaron lesiones macroscópicas y microscópicas sugerentes de la infección por MV (13). En

1983, un estudio que incluyó 200 ovinos provenientes del Estado de México y el Distrito Federal, mostró una seroprevalencia del 23% (7). En 1986, otro estudio realizado en una población de 1000 ovinos procedentes del Distrito Federal reveló un 8.2% de seroprevalencia (9) y en 2003, se demostró un 17% de animales seropositivos por Western Blot en una población de 70 ovinos procedentes del Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Zacatecas (10). Otros estudios han identificado a ovinos seropositivos a la infección por lentivirus en el Estado de Hidalgo (8), Jalisco y Chiapas (24). El último estudio que ha involucrado la detección serológica de lentivirus en una población de 610 ovinos de diferentes Estados de la República (Baja California Sur, Estado de México, Hidalgo, Sinaloa, Tlaxcala y Veracruz) detectó 117 (19.2%) animales con presencia de anticuerpos contra lentivirus. Al analizar los resultados seropositivos por raza, se encontró la mayor infección en Dorper 46/117 (39.3%); Frisian 23/117 (19.6%); Charollais 13/117 (11.1%); Awassi 13/117 (11.1%) y Criollos 13/117 (11.1%); y un nivel de infección más bajo en Kathadine 7/117 (5.8%) y Pelibuey 2/117 (1.7%). El mayor número de animales seropositivos fueron identificados en los Estados de México 88/263 (33.4%), Veracruz 11/52 (21.1%) e Hidalgo 18/175 (10.2%) (19,20). Sin embargo, no fue sino hasta el 2007 que la infección en ovinos cobró mayor interés en el país, como resultado del sacrificio de ovinos que fueron exportados a Colombia (265 ovinos) desde México, después de detectar 17 animales positivos en la prueba

de IDAG, lo que ocasionó una pérdida económica aproximada de 3 millones de pesos (28,29).

Estudios que han caracterizado las lesiones generadas por la infección lentiviral en caprinos en México, han reportado con mayor frecuencia lesiones relacionadas con artritis, que es sin duda el cuadro clínico frecuentemente observado en caprinos infectados en el país (11, 12) y en los últimos años las lesiones vinculadas a mastitis parecen estar cobrando una mayor relevancia. Por otro lado, son escasas estas descripciones en ovinos, no obstante, los pocos estudios reportados en México han descrito lesiones relacionadas con neumonías intersticiales (13,14). La caracterización genética de los LVPR se ha realizado tanto en ovinos y caprinos utilizando PCR-secuenciación, identificando con una mayor frecuencia al genotipo B1 en ambas especies y en diferentes Estados del país, sin embargo, también se han identificado los subtipos virales A1 y A2 más frecuentemente en la especie ovina distribuidos en diferentes rebaños (17-20).

Respecto a la transmisión se han llevado a cabo estudios que han identificado el fluido seminal como una fuente de transmisión de LVPR y el cual puede ser utilizado de manera confiable como una muestra para detectar anticuerpos contra LVPR (21). Los estudios llevados a cabo han mostrado que diferentes zonas del aparato reproductor de los machos albergan la infección de LVPR, con lesiones mínimas como en el caso de las glándulas accesorias, pero que contribuyen en la epidemiología de las

infecciones lentivirales (22). Por otro lado, la identificación de anticuerpos contra LVPR en fetos ovinos y caprinos reforzó la idea de que la vía de transmisión intrauterina es factible (23), lo cual pudo corroborarse en fetos ovinos de raza pelibuey de alrededor de 40 días de edad, concluyendo que la vía de transmisión transplacentaria puede representar el 6% de las formas en las que las crías se infectan por LVPR en los ovinos (24).

Un estudio realizado en personas que consumieron leche caprina sin pasteurizar y su riesgo de zoonosis, demostró que, aunque los anticuerpos que se generaron por la exposición a los lentivirus caprinos pueden reaccionar de forma cruzada en pruebas de detección de anticuerpos contra el virus de inmunodeficiencia humana, no hay indicios de que los individuos se infecten por LVPR (25). No obstante, la leche ha mostrado ser una excelente fuente de anticuerpos y material genético viral, lo que ha validado a esta muestra como ideal para el diagnóstico serológico y molecular (26).

En el ámbito del diagnóstico se han desarrollado diferentes estrategias serológicas basadas en el uso de péptidos sintéticos y proteínas recombinantes, el uso de proteínas recombinantes derivadas de la cápside y de péptidos sintéticos de regiones conservadas de la proteína de superficie y de transmembrana de LVPR tienen un alto potencial diagnóstico en técnicas tipo ELISAs indirectos. Como lo muestran los resultados obtenidos en diferentes estudios donde se han identificado sensibilidades que oscilan entre 74.9% a 91.8%

y especificidades de 89.3 a 98.7% (24,26). Por otro lado, se han desarrollado estrategias en las técnicas moleculares para aumentar la sensibilidad de las pruebas, ya que como se ha demostrado la alta variabilidad genética de los LVPR hace que el diagnóstico por PCR sea un desafío (30). Los resultados obtenidos han demostrado que con el uso de PCR anidadas se mejora la sensibilidad y además pueden ser muy específicas, ya que se logra la amplificación genotipo específico (A o B) según los iniciadores utilizados (19,20).

Las proteínas recombinantes generadas de cápside (p25) han permitido explorar su posible utilización como inmunógenos utilizando modelos murinos. Se han identificado epítomos con análisis bioinformáticos que sugieren regiones antigénicas en la proteína, datos que han sido corroborados con el uso de plasmas de cabras y ovinos provenientes de distintos Estados del país, en los cuales se han identificaron anticuerpos contra p25 por western blot, demostrando su capacidad antigénica. Por otro lado, la formación de complejos con liposomas de ácido glicirricínico le han permitido a p25 generar niveles similares de anticuerpos a los producidos con la utilización de otro adyuvante (ISCOM), concluyendo que los liposomas de ácido glicirricínico aumentan eficientemente la respuesta inmune humoral y una respuesta inmune celular moderada (27).

Conclusión

En México se han enfocado los estudios relacionados con las infecciones lentivirales en

caprinos y no así en ovinos; sin embargo, la infección se encuentra ampliamente distribuida en ambas especies en todo el país. Se han identificado los genotipos A y B de LVPR en ambas especies, no obstante, debido a su alta variabilidad genética se requieren realizar más estudios al respecto. El diagnóstico basado en el uso combinado de serología y PCR es la mejor estrategia para la identificación de infecciones lentivirales y aunque se han desarrollado alternativas diagnósticas en el país, los costos elevados y la falta de interés de los productores no ha permitido potenciar estas herramientas para impactar en el control de los LVPR en los rebaños nacionales. Es necesario el desarrollo de grupos de investigación regionales que aborden la problemática de las infecciones lentivirales en los rebaños ovinos y caprinos, lo que sin duda pueden potenciar las opciones en estrategias de control, detección y disminución del impacto productivo de los retrovirus que infectan los pequeños rumiantes.

Agradecimientos

Al financiamiento concedido por los programas PAPIIT, UNAM; PIAPI FESC y CONACyT. A los estudiantes de MVZ, especialistas en Producción de Ovinos y Caprinos, maestría y doctorado del Programa en Ciencias de la producción y de la Salud Animal que han apoyado el desarrollo de los diferentes proyectos. Finalmente quiero agradecer a todos los investigadores de diferentes instituciones que me han permitido colaborar con ellos, Centro Médico siglo XXI, IMSS; CENID-SAI,

INIFAP; FMVZ, UNAM y FES-Cuautitlán, UNAM.

Referencias

1. de Miguel, R., Arrieta, M., Rodríguez-Largo, A., Echeverría, I., Reséndiz, R., Pérez, E., Ruiz, H., Pérez, M., de Andrés, D., Reina, R., de Blas, I., Luján L. (2021). *Worldwide Prevalence of Small Ruminant Lentiviruses in Sheep: A Systematic Review and Meta-Analysis*. *Animals*, 11: 784.
2. Ramírez, H., Reina, R., Amorena, B., de Andrés, D., Martínez, H.A. (2013). *Small Ruminant Lentiviruses: Genetic Variability, Tropism and diagnosis*. *Viruses*, 5, 1175-1207.
3. Ramírez, H., Echeverría, I., Benito, A.A., Glaria, I, Benavides, J, Pérez, V., de Andrés, D., Reina, R. (2021). *Accurate diagnosis of small ruminant lentivirus infection is needed for selection of resistant sheep through TMEM154 E35K genotyping*. *Pathogens*, 10, 83.
4. Ramírez, A.H., Martínez, R.H.A. (2015). *Artritis encefalitis caprina. En enfermedades de las cabras*. Editado por Díaz, A.E., Tórtora, P.J.L., Palomares, R.E.G., Gutiérrez, H.J.L. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México D.F.
5. Adams, D.S., Oliver, R.E., Ameghino, E., DeMartini, J.C., Verwoerd, D.W., Houwers, D.J., Waghela, S., Gorham, J.R., Hyliseth, B., Dawson, M., Trigo, F.J., McGuire, T.C. (1984). *Global survey of serological evidence of caprine arthritis-encephalitis virus infection*. *Vet Rec*. 115 (19), 493-495.

6. Nazara, C.S., Trigo, F.J., Suberbie, E., Madrigal, V. (1985). *Estudio serológico de la artritis-encefalitis caprina en México*. *Téc Pec Mex* 48: 98-101.
7. Ramírez, C., Trigo, F.J. (1983). *Informe preliminar sobre la seroprevalencia de la Neumonía Progresiva Ovina en México*. Memorias de la Reunión Anual de Investigación Pecuaria. Facultad de medicina, UNAM. Ciudad universitaria, SARH-UNAM. México.
8. Martínez, R.H.A., Lazcano, R.M.A., Ramírez, A.H., Sánchez G.J.H., Díaz A.E. (2011). *Detección de anticuerpos en machos a Lentivirus de Pequeños Rumiantes (Estudio preliminar)*. XXVI Reunión Nacional Sobre Caprinocultura. Querétaro, Querétaro.
9. Molina, R.M, Trigo, F.J., Cutlip, R.C. (1986). Estudio serológico de la neumonía progresiva ovina en México. *Vet Méx.* 17: 269-273.
10. Pérez, S.A., Martínez, R.H., Ramírez, A.H. (2003). *Identificación de anticuerpos contra proteínas de lentivirus en machos carneros por las técnicas de ELISA y Western blot*. Memorias del XII Congreso Nacional de Producción Ovina. Tulancingo, Hidalgo. México.
11. Nazara, C.S., Trigo, F.J., Suberbie, E., Madrigal, E.V. (1985). *Estudio clínico-patológico de la artritis-encefalitis caprina en México*. *Vet Méx.* 16, 91-100.
12. Leyva, G.V.H., Martínez, R.H.A., González, R.M.G., Cornejo, C.M.A., Rosales, M.E., Garrido, F.G., Rojas, M.M.L., González, P.S., Montaraz, C.J.A. (1998). *Identificación del virus de la artritis encefalitis caprina mediante el estudio histopatológico, inmunohistoquímico y ultraestructural, en tejidos de cabras seropositivas en México*. *Rev Lat Amer Microbiol* 1-2: 33-38.
13. Eguiluz, C., Aluja, A. (1981). *Neumonía intersticial progresiva (Maedi) y adenomatosis pulmonar en vísceras de óvidos decomisadas*. *Vet Méx.* 12: 235-237.
14. Borquez, C.M.Y., Hernández, C.J.F., Armenta, L.B., Cedillo, C.J.R., Molina, B.R.M. (2021). *Ovine Progressive Pneumonia: Diagnosis and Seroprevalence in the South of Sonora, Mexico*. *Case Reports in Veterinary Medicine*, 2021:4.
15. Daltabuit, T.M., Concha-Bermejillo, A., Espinosa, L.E.L., Rubio, L.E., Setién, A.A. (1999). *Isolation of caprine arthritis encephalitis from goats in México*. *Can J Vet Res.* 63, 212-215.
16. De la Luz-Armendáriz, J., Ducoing-Watty, A.E., Ramírez-Mendoza, H., Gómez-Núñez, L., Catalina Tufiño-Loza, C., Cabrera-Domínguez, E.M., Díaz-Aparicio, E., Rivera-Benítez, J.F. (2021). *Prevalence, molecular detection, and pathological characterization of small ruminant lentiviruses in goats from Mexico*. *Small Ruminant Research*, 202: 1-8.
17. Ramirez, H., Glaria, I., de Andrés, X., Martínez, H.A., Hernández, M.M., Reina, R., Iraizoz, E., Crespo, H., Berriatua, E., Vázquez, J., Amorena, B., de Andrés, D. (2011). *Recombinant small ruminant lentivirus subtype B1 in goats and sheep of imported breeds in Mexico*. *Vet J* 190, 169-172.

18. Mendiola, P.S.W., Tórtora, J.L., Martínez, H.A., García, M.M., Cuevas-Romero, S., Cerriteño, J.L., Ramírez, H. (2019). *Genotyping based on the LTR region of Small Ruminant Lentiviruses from naturally infected sheep and goats from Mexico*. *Biomed Res Int*, 12: 1-8.
19. González, M.A.S., Cerón, T.F., Tórtora, P.J.L., Martínez, R.H.A., García, F.M.M., Ramírez, A.H. (2020). *Signature patterns in region V4 of small ruminant lentivirus surface protein in sheep and goats*. *Virus Research*, 280.
20. Acevedo, J.G.E., Tórtora, P.J.L., Rodríguez, M.C., Arellano R.B., Ramírez, A.H. (2021). *Serotyping versus genotyping in infected sheep and goats with small ruminant lentiviruses*. *Vet Microbiol*, 252.
21. Ramírez, H., San Román, B., Glaria, I., Reina, R., Hernández, M.M., de Andrés, X., Crespo, H., Hichou, B., Cianca, S., Goñi, C., Grandas, A., García-Pastor, L., Vijil, L.E., Quintín, F., Grilló, M.J., de Andrés, D., Amorena, B. (2009). *Antibody-based diagnosis of small ruminant lentivirus infection in seminal fluid*. *Theriogenology*. 72 (8): 1085-1096.
22. Martínez, R.H.A., Ramírez, A.H., Tórtora, P.J., Setién, A.A., Garrido, F.G.I., Montaraz, C.J.A. (2005). *Efecto del virus de artritis encefalitis caprina en aparato reproductor de machos caprinos*. *Vet Méx*, 36 (2) 159-176.
23. Arcila, L.G., Martínez, R.H.A., Tórtora, P.J. (2012). *Detection of antibodies against small ruminant lentiviruses in ovine and caprine fetuses*. *Vet. Méx.*, 43 (1): 9-15.
24. Sánchez, J.H., Martínez, H.A., García, M.M., Garrido, G., Gómez, L., Aguilar, J.A., de Andrés, D.F., Reina, R., Ramírez H. (2016). *The presence of small ruminant lentiviruses in Mexican Pelibuey sheep*. *Theriogenology*, 86: 1953-1957.
25. Tesoro, C.E., Hernández, G.R., Martínez, R.A., Ramírez, A.H., Trujillo, O.M.E., Kretschmer, S.R., Aguilar, S.A. (2003). *Detección de anticuerpos contra Artritis Encefalitis Caprina (AEC) mediante Inmunotransferencia*. *Vet Méx* 34 (2), 119-126.
26. Aguilar, T.M.C., García, F.M.M., Martínez, R.H.A., Aguilar, S.J.A., Ramírez, A.H. (2015). *Estudio comparativo de pruebas de ELISA para la detección de anticuerpos a Lentivirus de Pequeños Rumiantes (LVPR) en plasma y en leche*. XXVIII Reunión Nacional Sobre Caprinocultura. Santiago Huajolotitlán, Oaxaca, México.
27. Castañeda, M.A., Cerriteño, S.J.L., Ramírez, A.H., Cuevas, R.J.S. (2021). *Glycyrrhizinic acid liposomes increase immune response effectiveness of small ruminant lentivirus P25 recombinant protein*. Congreso: XII Congreso Nacional de Virología. Monterrey, Nuevo León.
28. Tórtora, J. (2008). *Enfermedades reemergentes para el rebaño ovino mexicano*. La revista del borrego, No. 53.
29. Urcastegi, R.H.A. (2007). *Ovinos mexicanos sacrificados en Colombia*. Acontecer ovino y caprino. Vol. VIII. No. 35.

30. Ramírez, H., Reina, R., Bertolotti, L., Cenoz, A., Glaria, I., Hernández, M.M, de Andrés, X., Crespo, H., Jáuregui, P., Benavides, J., Polledo, L., Pérez, V., García-Marín, J.F., Rosati, S., Amorena, B., de

Andrés, C.D.F. (2012). *Study of compartmentalization in the visna clinical form of small ruminant lentivirus infection in sheep*. BMC Vet Res, 8 (1): 8.

Conducta materna y producción en ovinos

Angélica María Terrazas

García

Correo electrónico:

garciate@unam.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
26 de julio de 2022**

RESUMEN

La conducta materna es el resultado de la interacción de factores sensoriales y humorales que le permite a las hembras cambiar su comportamiento y condiciones de vida para atender a la progenie y favorecer su sobrevivencia. Los animales domésticos con importancia económica se han adaptado al entorno en cautividad y a la presencia del ser humano. Durante la domesticación se han realizado procesos de selección genética con el fin de obtener mayores beneficios de estas especies.

En el caso particular de ovinos la conducta materna ha permanecido casi sin cambiar entre las distintas razas domésticas en comparación a las silvestres. El comportamiento materno en ovinos se caracteriza por la formación de un vínculo filial tipo impronta, entre la oveja y su cordero, y esto ocurre solo durante el periodo sensible, que se ubica en las primeras horas inmediatamente después del parto. En el sistema de producción ovina existen factores que puede ocasionar perturbaciones en el comportamiento materno, entre los más importantes están la falta de experiencia materna, la mala nutrición durante la gestación, las condiciones ambientales de parto y la presencia de distocias. En conjunto las fallas o perturbaciones en el despliegue de la conducta materna y otros factores inherentes al sistema de producción, pueden ocasionar predisposición para la muerte de la cría, y en algunos casos hasta de la madre. De hecho, el mayor porcentaje de mortalidad en un rebaño ovino ocurre durante las primeras semanas en las que ocurren los partos, y de este porcentaje los animales que llegan a morir en mayor frecuencia son corderos lactantes. El presente trabajo tiene como objetivo describir de manera general la relación que tiene el comportamiento materno con la producción en ovinos.

Palabras clave: Ovinos, comportamiento, corderos, sobrevivencia.

Introducción

Los ovinos fueron una de las primeras especies en ser domesticadas; su temperamento gregario, su rápida adaptabilidad a distintas regiones y a variaciones en la disponibilidad de alimento permitieron manejarla fácilmente. Hay evidencia de la presencia de restos óseos de ovinos cazados encontrados en las regiones del noroeste de Iraq y el sudeste de Anatolia que datan de 12.000 AC (1, 2). En Anatolia también existen evidencias de que las ovejas transitaron de ser cazadas a ser criadas y explotadas alrededor de 10.200 AC (3). Se estima que la domesticación de las ovejas ocurrió casi simultáneamente con la de las cabras, entre 10.000 y 9.000 años AC, unos 1.000 años luego de la domesticación de algunos cultivos agrícolas, la que ocurrió en lugares cercanos (4). La gran variación fenotípica de los ovinos se vincula con su adaptación genética y/o aclimatización no genética a distintos climas (5, 6, 7).

Los ovinos son animales rumiantes, cuadrúpedos, ungulados, con un temperamento dócil, con comportamiento gregario, lo que facilita su manejo. Ante la presencia de predadores forman grupos compactos o pequeños rebaños, con movimientos gregarios.

El gregarismo resalta cuando los animales deben realizar algún tipo de actividad que los expone, haciéndolos vulnerables. Tal es el caso de la alimentación, la crianza, el desplazamiento, e incluso la propia reproducción. Por ejemplo, en la mayor parte de las razas, la reproducción (apareamiento y pariciones) ocurre en una sola época al año con

la mayoría de los estros, y por tanto de las pariciones ocurriendo en tiempos acotados.

El gregarismo del ovino se refleja en que, cuando un individuo es separado del grupo, responde muy fuertemente con un estado de agitación. En contraste, salvo que fuera una cría, los individuos que fueron separados del animal aislado no responden a sus llamados. De hecho, se observa que el resto del rebaño o grupo social permanece pasivo ante la respuesta del individuo aislado. Esto se puede explicar porque cuando un animal queda expuesto a predadores al quedar aislado del núcleo de animales las señales que los puedan atraer no son deseables para el resto del grupo. Los ovinos son animales con reproducción estacional. En la mayoría de los países productores la estación reproductiva ocurre en otoño e invierno por lo que los nacimientos de las crías se producen a inicios de la primavera. Esta estrategia evolutiva ha permitido tener las crías en la temporada que tiene la mayor disponibilidad de pasturas y plantas, con alto valor nutricional, todo lo que permite el final de una buena gestación y el inicio de una adecuada lactancia.

La búsqueda de alimento, el pastoreo, el consumo de agua y la rumia se ejecutan en forma bastante sincronizada dentro del grupo, con los animales jóvenes y de menores jerarquías imitando el comportamiento de sus co-específicos. Los ovinos tienen preferencias por pasturas y plantas de poca altura, pero normalmente no ramonean, por lo que son considerados como un rumiante pastoreador. Su actividad es principalmente diurna, con 2-3 periodos de búsqueda, ingestión y

aprovechamiento del alimento durante las horas de luz. Adicionalmente, los ovinos evitan alimentarse durante las horas de oscuridad para minimizar el riesgo de la acción de predadores.

La existencia de un cuidado parental (ej. la conducta de los adultos dirigida hacia las crías), está ampliamente difundida entre una gran variedad de grupos taxonómicos. (8) En un sentido más estricto, (ej. la conducta dirigida al cuidado de su propia cría), es una regla general que ocurre en aves (9) y absolutamente indispensable en mamíferos, en los cuales la crianza maternal es importante para la sobrevivencia del neonato (10).

La conducta materna es el proceso que resulta de la combinación de factores neuronales, humorales y sensoriales cuyo fin lleva al individuo a proteger a su progenie (11). En mamíferos la supervivencia de la progenie es una etapa crítica de la reproducción, ya que determina el éxito reproductor de los padres (12, 13). Así mismo el recién nacido depende totalmente de su madre para su alimentación (14, 15, 16).

Las relaciones madre-cría en ungulados domésticos se caracteriza principalmente por el hecho de que las madres paren crías precoces, el recién nacido tiene una alta capacidad de moverse y percibir distintos tipos de señales, lo cual lo difiere de algunas especies de laboratorio que son de tipo altricial (en cuyo caso el neonato nace poco móvil y requiere de mucha atención por parte de la madre (11, 14, 18).

En ovinos la conducta maternal y las relaciones madre-cría han sido extensamente estudiados, especialmente por la importancia económica y productiva que tiene esta especie a nivel mundial. De tal manera que la oveja y la rata son los modelos de estudio de conducta maternal más interesantes y estudiados hasta nuestros días.

De manera general se conocen dos etapas importantes en el establecimiento de la conducta materna en ovinos, la primera etapa es la que ocurre antes del parto, en donde se observan los primeros indicios hacia un cambio conductual en la madre que en el futuro permitirán una consolidación filial con su progenie. Esta etapa se caracteriza por cambios en su apego social, atracción al líquido amniótico, búsqueda de lugar de parto y emisión de vocalizaciones. Mientras que, en la segunda etapa, ocurren los eventos definitivos que consolidan esta etapa reproductiva en los ovinos. Esta segunda fase se caracteriza por una atención intensiva de la madre hacia el cordero o la camada, por el establecimiento de la selectividad materna o reconocimiento olfatorio y por la ocurrencia del aprendizaje acústico/visual entre la madre y su cordero.

Características conductuales de las relaciones madre-cría ovinos

2.1.-Conducta de la madre

Las ovejas son especies altamente gregarias, viven en grupos y pueden desplazarse por grandes distancias. La gestación, dura alrededor de 150 días y los partos ocurren a finales de invierno y principios de verano. En

muchas razas, las hembras paren una o dos crías. A medida que el parto se acerca, varios cambios conductuales pueden ser observados. La hembra uno o dos días antes del parto, tiende a aislarse del grupo pasiva o activamente. En esta especie se observa un cambio en la respuesta a la separación social que muestran una clara reducción del gregarismo en las 24 horas que preceden el nacimiento de la cría (17).

Hay algunas controversias sobre el hecho de que las hembras seleccionen un sitio de parto con características específicas. En ovejas varios estudios indican que las hembras no lo hacen así, más bien buscan un lugar confortable, solamente si ellas sienten algo de frío, aunque existen algunas excepciones (19).

A medida que se acerca el parto, la hembra muestra signos de agitación (balidos altos e inquietud). El interés por un neonato puede también ser observado en estos momentos, especialmente durante las últimas 12 horas que preceden al parto, de hecho, en este periodo pueden ocurrir la mayoría de los "robos de corderos". El factor elemental es la pronta aparición de la motivación maternal en las últimas horas de la gestación (20). La emergente atracción a los fluidos amnióticos (FA) en ovejas periparturientas representa un buen ejemplo del cambio en la motivación conductual. Estos fluidos, en condiciones normales son altamente repulsivos para las ovejas, pero pocas horas antes del parto ya comienzan a ser más atractivos, lo cual facilita el contacto inicial con el neonato (21, 22).

Una vez que la cría ha nacido, la madre comienza a limpiarla intensamente, emitiendo al mismo tiempo, numerosas vocalizaciones de baja intensidad conocidas como balidos bajos (23, 24, 18). aunque estas conductas irán desapareciendo gradualmente (atracción al FA), o serán expresadas en menor frecuencia (balidos bajos). Un tercer componente característico del cuidado maternal es la aceptación del neonato a la ubre. Hembras no maternales no toleran el contacto de cualquier cría en la región inguinal, mientras que las hembras parturientas o lactantes se mantienen quietas cuando el neonato se acerca a la ubre, y pueden incluso arquear su columna para facilitar el acceso a la ubre. La duración de los episodios de amamantamiento varía de unos cuantos minutos, cada 30 a 60 minutos en los primeros días postparto, a menos de 30 segundos cada 60 a 120 minutos después de varias semanas de vida, o hasta el destete, el cual puede durar 5 meses. Durante las primeras semanas, la madre permite a la cría amamantarse tanto como ella quiera, después de ese tiempo la madre controla la duración del amamantamiento alejándose de la cría para terminar la succión.

Una característica muy importante en la conducta maternal en ovejas es la presencia de un "periodo sensible" (25). Si a la madre no se le permite tener contacto con su neonato durante las primeras horas postparto, su motivación maternal desaparecerá dentro de pocas horas. Mientras que, si a ella se le permite interactuar con su cría, la madre es capaz de mantener su respuesta maternal incluso

después de una separación (26, 20). Además, durante este contacto inicial madre-cría, la madre rápidamente desarrolla un vínculo selectivo con su cría, lo cual sugiere un proceso de vinculación, de alguna manera, similar a la impronta descrita en animales nidífugos como las crías de aves (18).

Las ovejas son capaces de reconocer a su neonato dentro de las primeras dos horas posparto, en la mayoría de los casos, e incluso en menos tiempo de acuerdo con algunos estudios (27, 20, 28). El aprendizaje de la identidad olfatoria individual del neonato permite la aceptación exclusiva de la cría propia a la ubre. Una vez que la madre se ha vinculado con su neonato, es bastante difícil inducir adopciones de una cría adicional, y la presencia de una selectividad maternal tendrá fuertes influencias sobre la conducta de la madre y su cordero al momento de la succión, durante la lactancia.

La manifestación de la conducta materna está también influenciada por una experiencia maternal previa. Esto ha sido principalmente documentado en ovejas al momento del parto. De esta manera, la manifestación preparto del interés maternal está principalmente limitado a hembras multíparas (20). Se ha observado que la deserción al neonato, o la alteración del cuidado maternal es muy común en hembras primíparas más que multíparas (19).

2.2.- Conducta de la cría.

Los corderos son animales muy precoces: ellos nacen con un sistema sensorial relativamente maduro, con una muy buena capacidad

locomotriz y alguna autonomía en su termorregulación. Los neonatos usualmente se incorporan dentro de los primeros 30 minutos de vida y se amamantan dentro de la primera hora de nacidos (29). Las interacciones que permiten el amamantamiento han sido principalmente estudiadas en ovejas. El cordero recién nacido tiene una intensa actividad motriz para buscar la ubre, la cual evoluciona y termina en succión (30). La localización exitosa del pezón depende de diferentes factores tales como diferencias en la temperatura entre el vellón y la piel que rodea a la ubre, la textura del pezón y una conducta adecuada de la madre (31).

Contrario a la madre, la cría no establece un enlace exclusivo con la misma, y los intentos de amamantarse de madres ajenas pueden ser observados, al menos en condiciones intensivas. Sin embargo, la cría se amamanta más frecuentemente de su madre, que, de la madre ajena, y el intento de succiones a una madre ajena tiene lugar durante varias semanas. Sin embargo, esta conducta parece rara en cordero de parto sencillo, y parece usual en crías de parto múltiple. Además, actualmente está bien establecido que las crías pueden rápidamente discriminar entre su madre y una madre ajena (32, 16).

Las ovejas usualmente comienzan a moverse del sitio de parto 2 a 4 horas después del nacimiento, aunque en algunos casos esto puede tomar más tiempo, dependiendo de la disponibilidad de alimento y del grado de confort del lugar (19). Cuando la madre

abandona el sitio de parto, el cordero inmediatamente la sigue "seguidores" (33).

Reconocimiento mutuo y vinculación

En ovejas, las madres se vinculan con sus neonatos en menos de dos horas de nacidos, en la mayoría de los casos, lo cual resulta en una fuerte respuesta a la separación madre-cría y al rechazo de cualquier cría ajena que se acerque a la ubre (19, 34). El aprendizaje maternal de la firma olfatoria del neonato juega un papel primordial en el proceso de vinculación con la cría. Los estudios en ovejas han mostrado que la memorización del olor del cordero es facilitada por la estimulación vagino cervical (EVC) causada por la expulsión del feto. Mientras que una gran mayoría de madres rechazan a crías ajenas después de dos horas de contacto con su cría, 5 minutos de EVC artificial permitirán una aceptación inmediata de crías ajenas en el 80% de los casos observados (35), así mismo, en recientes observaciones se encontró que la EVC induce la formación rápida de un vínculo con un cordero ajeno, sin interferir con la formación del vínculo previo con el cordero propio (36).

Esto ciertamente explica porque las madres de partos dobles o triples pueden aceptar a neonatos adicionales, aun cuando haya un retraso entre la expulsión de uno y otro, incluso de media hora o más (37).

Parece que el neonato posee un olor individual el cual es aprendido por la madre, sin necesidad de ser marcado maternalmente, aunque este último proceso pueda contribuir a enriquecer, de manera tardía, la firma olfatoria de la cría.

Es importante recalcar que independientemente del reconocimiento olfativo, las madres, en ambas especies también desarrollan una habilidad de reconocimiento visual y auditivo de su cría. Esto ha sido particularmente bien establecido en ovejas, en las cuales los primeros trabajos de Lindsay y Fletcher (38), mostraron la existencia de un reconocimiento a distancia, el cual puede ser alcanzado por señales visuales y auditivas (39, 40, 41). Aunque se había propuesto que este reconocimiento no-olfativo tomaba varios días para desarrollarse (42), trabajos en ovejas (43, 44, 28) sugieren que la madre puede incurrir en esta habilidad en menos de 12 horas de parida, lo que indica que la dinámica de reconocimiento visual/o auditivo puede ser similar a los que ocurre con la discriminación olfatoria. En la exploración de la participación del oído en este reconocimiento no olfatorio, se ha podido observar en ovejas que las madres son capaces de reconocer a su cordero sólo por el oído desde las 24 horas postparto, mientras que los corderos son capaces de hacerlo de esta forma desde las 48 horas (45). De igual manera, se ha demostrado que tanto las ovejas como los corderos poseen una firma acústica que permite reconocerse entre ellos desde la primera semana de postparto (46). Por lo que la comunicación acústica entre ambos miembros de la familia y su despliegue adecuado es un factor determinante para el reconocimiento mutuo y distal entre la oveja y su cordero.

3.1.- Reconocimiento de la madre por su cría.

La selectividad en el cuidado maternal en ovejas tiene componentes, en algunos casos, ocultos, por el hecho de que el neonato también desarrolla la habilidad de discriminar entre su madre y una ajena tan tempranamente que como se había propuesto (47, 48). El cordero muestra diferente respuesta de la tasa de ritmos cardiacos en respuesta al olor de su madre, que el de una madre ajena (31). Ellos también son capaces de discriminar entre su madre y una extraña, en una situación de elección doble entre las 12 y las 24 horas de edad, dependiendo de la raza y del tamaño de la camada (49, 50), aunque esta habilidad no depende del olfato. De hecho, en etapas tempranas los corderos eligen a su madre sobre la base de las diferencias conductuales entre la madre propia y la ajena, lo cual es a su vez, resultado de la selectividad maternal (51). Varios estudios hechos por Nowak y colaboradores indican que esta preferencia es adquirida, y que la succión durante las primeras 6 a 12 horas de vida son muy importantes en este respecto. La actividad de alimentación del neonato activa la colecistokinina (CCK), la cual en respuesta estimula el desarrollo de una preferencia hacia las conductas de aceptación mostradas por la madre, a través de la activación del nervio vago. Después de unos pocos días, sin embargo, el cordero probablemente desarrolla un verdadero reconocimiento conductual de su madre, a través del reconocimiento de señales sensoriales individuales, lo cual permite la correcta elección incluso a distancia (51, 16).

Referencias

- 1.Redding, R. W. 2005. Breaking the mold, a consideration of variation in the evolution of animal domestication. *The First Steps of Animal Domestication*, eds Vigne J-D, Peters J, Helmer D (Oxbow Books, Oxford), pp 41–48.
- 2.Zeder, M.A., 2009. The Neolithic Macro-(R) evolution: Macroevolutionary Theory and the Study of Culture Change *J. Archaeol Res.* 17, 1-63.
- 3.Peters J, von den Driesch A, Helmer D. 2005. The upper Euphrates-Tigris Basin, cradle of agro-pastoralism? *The First Steps of Animal Domestication*, eds Vigne J-D, Peters J, Helmer D (Oxbow Books, Oxford), pp 96–124.
- 4.Zeder, M.A., 2008. Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. *P.N.A.S.* 105:33, 11597–11604.
- 5.Nielsen, A., Yoccoz, N.G., Steinheim, G., Storvik, G.O., Rekdal, Y., Angeloff, M., Pettorelli, N., Holand, Ø., Mysterud, A., 2012. Are responses of herbivores to environmental variability spatially consistent in alpine ecosystems? *Global Change Biol.*18, 3050–3062.
- 6.Nielsen, A., Steinheim, G., Mysterud A., 2013. Do different sheep breeds show equal responses to climate fluctuations? *Basic Appl Ecol.* 14, 137–145.
7. Feng-Hua, Lv, Saif Agha, Juha Kantanen, Licia Colli, Sylvie Stucki, James W. Kijas, Stéphane Joost, Meng-Hua Li, and Paolo Ajmone Marsan. 2014. Adaptations to Climate-Mediated Selective Pressures in Sheep. *Mol. Biol. Evol.* 31(12), 3324–3343.

8. Rosenblatt, J. S., and Snowdon, C. T. (1996). Parental care: Evolution, Mechanisms, and adaptive Significance, Vol. 25. Academic Press, San Diego.
9. Silver, R., Andrews, H., and Ball, G. F. (1985). Parental care in an ecological perspective: A quantitative analysis of avian subfamilies. *Amer. Zool.* 25, 823-840.
10. Poindron, P., Terrazas, A., y Hernández, H. (2003). Exclusive mother-young bonding in sheep and goats: Physiological determinants and consequences. *Rev. Mex. Psicol.* 20 (2): 265-281.
11. González-Mariscal, G. and Poindron, P. (2002). Parental care in Mammals: Immediate internal and sensory factors of control. In D. W. Pfaff, A. P. Arnold, A. M. Etgen, S. E. Fahrnbach, and R. T. Rubin (Eds.), *Hormones, Brain and Behavior*, Vol. 1, (pp. 215-298). Academic Press, New York.
12. Carlson, S. G., K. Larsson and J. Schaller. (1980). Early mother-child contact and nursing. *Reprod. Nut. Dev.* 20: 881-899.
13. Poindron, P. (2001). El control fisiológico de la conducta materna al momento del parto en ovinos y caprinos. In: *Biología de la reproducción II*. p 301 - 323.
14. Nowak, R., Porter, R.H., Levy, F., Orgeur, P., Schaal, B. (2000). Role of mother-young interactions in the survival of offspring in domestic mammals. *Rev. Reprod.* 5, 153-163.
16. Nowak, R. and Poindron, P. (2006). From birth to colostrum: early steps leading to lamb survival. *Reprod. Nutr. Dev.* 46, 431-446.
17. Poindron, P., Soto, R., and Romeyer, A. (1997). Decrease of response to social separation in preparturient ewes. *Behav. Proc.* 40, 45-51.
18. Poindron, P., Keller, M., Lévy, F., (2007). Maternal responsiveness and maternal selectivity in domestic sheep and goats: the two facets of maternal attachment. *Dev. Psychobiol.* 49, 54-70.
19. Poindron, P., Nowak, R., Lévy, F., Porter, R. H., and Schaal, B. (1993). Development of exclusive mother-young bonding in sheep and goats. *Oxford Reviews of Reproductive Biology*, 15, 311-64.
20. Poindron, P., and Le Neindre, P. (1980). Endocrine and sensory regulation of maternal behavior in the ewe. *Adv. Study Behav.* 11, 75-119.
21. Lévy, F., and Poindron, P. (1987). The importance of amniotic fluids for the establishment of maternal behaviour in experienced and inexperienced ewes. *Anim. Behav.* 35, 1188-1192.
22. Lévy, F., Poindron, P., and Le Neindre, P. (1983). Attraction and repulsion by amniotic fluids and their olfactory control in the ewe around parturition. *Physiol. Behav.* 31, 687-692.
23. Dwyer, C. M. and Lawrence, A. B. (1998). Variability in the expression of maternal behaviour in primiparous sheep: Effects of genotype and litter size. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 58, 311-330.
24. Dwyer, C. M. (2003). Behavioural development in the neonatal lamb: Effect of maternal and birth-related factors. *Theriogenology*, 59:1027-1050.

25. Herscher, L., Richmond, J. B. and Moore, A. U. (1963). Maternal behavior in sheep and goats. In H. L. Rheingold (Ed.), *Maternal Behavior in Mammals*, (pp. 203-232). John Wiley and Sons Inc., New-York.
26. Lévy, F., Gervais, R., Kindermann, U., Litterio, M., Poindron, P., and Porter, R. (1991). Effects of early post-partum separation on maintenance of maternal responsiveness and selectivity in parturient ewes. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 31, 101-110.
27. Smith, F. V., Van-Toller, C., and Boyes, T. (1966). The "critical period" in the attachment of lambs and ewes. *Anim. Behav.* 14, 120-125.
28. Keller, M., Meurisse, M., Poindron, P., Nowak, R., Ferreira, G., Shayit, M., and Lévy, F. (2003). Maternal experience influences the establishment of visual/auditory, but not olfactory recognition of the newborn lamb by ewes at parturition. *Dev. Psychobiol.*, 43, 167-176.
29. Slee, J., and Springbett, A. (1986). Early post-natal behaviour in lambs of ten breeds. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 15, 229-240.
30. Alexander, G. and Williams, D. (1966). Teat-seeking activity in lambs during the first hours of life. *Anim. Behav.*, 14, 166-76.
31. Vince, M. A. (1993). Newborn lambs and their dams: the interaction that leads to sucking. *Advances in the Study of Behavior*, 22, 239-268.
32. Lent, P. C. (1974). Mother-infant relationship in ungulates. In V. Geist and F. Walther (Eds.), *The Behaviour of Ungulates and Its Relation to Management*, (pp. 14
- 55). U.I.C.N., Morgues, Zwitterland.
33. Poindron, P., Caba, M., Gomora Arrati, P., Krehbiel, D., and Beyer, C. (1994). Responses of maternal and non-maternal ewes to social and mother-young separation. *Behav. Proc.* 31, 97-110.
34. Lévy, F., Keller, M., Cornilleau, F., Moussu, C., and Ferreira, G., (2010). Vagino-cervical stimulation of ewes induces the rapid formation of a new bond with an alien young without interfering with a previous bond. *Dev Psychobiol* 52: 537-544.
35. Poindron, P., Le Neindre, P., Raksanyi, I., Trillat, G., and Orgeur, P. (1980). Importance of the characteristics of the young in the manifestation and establishment of maternal behaviour in sheep. *Reprod., Nut. Develop.*, 20, 817-826.
36. Lindsay, D. R., and Fletcher, I. C. (1968). Sensory involvement in the recognition of lambs by their dams. *Anim. Behav.* 16, 415-7.
37. Alexander, G. and Shillito, E. E. (1977a). The importance of odour, appearance and voice in maternal recognition of the young in Merino sheep (*Ovis aries*). *Appl. Anim. Ethol.*, 3, 127-135.
38. Alexander, G. and Shillito, E. E. (1977b). Importance of visual clues from various body regions in maternal recognition of the young in Merino sheep (*Ovis aries*). *Appl. Anim. Ethol.*, 3, 137-143.
39. Poindron, P., and Carrick, M. J. (1976). Hearing recognition of the lamb by its mother. *Anim. Behav.* 24, 600-602.
40. Morgan, P. D., Boundy, C. A. P., Arnold, G. W., and Lindsay, D. R. (1975). The

- roles played by the senses of the ewe in the location and recognition of lambs. *App. Anim. Ethol.* 1, 139-150.
41. Terrazas, A., Ferreira, G., Lévy, F., Nowak, R., Serafin, N., Orgeur, P., Soto, R., and Poindron, P. (1999). Do ewes recognize their lambs within the first day postpartum without the help of olfactory cues? *Behav. Proc.* 47, 19 - 29.
- 42.- Ferreira, G., Terrazas, A., Poindron, P., Nowak, R., Orgeur, P., and Lévy, F. (2000). Learning of olfactory cues is not necessary for early lamb recognition by the mother. *Physiol.Behav.* 69, 405-412.
- 43.Sebe, F., Nowak, R., Poindron, P., Aubin, T., (2007). Establishment of vocal communication and discrimination between ewes and their lamb in the first two days after parturition. *Dev. Psychobiol.* 49(4):375-386.
44. Searby, A. and Jouventin, P., (2003). Mother-lamb acoustic recognition in sheep: a frequency coding. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B-Biol. Sci.* 270(1526):1765-1771.
- 45.Alexander, G. and Shillito-Walser, E. E. (1978). Visual discrimination between ewes by lambs. *Appl. Anim. Ethol.*, 4, 81-85.
46. Arnold, G. W., Boundy, C. A. P., Morgan, P. D. and Bartle, G. (1975). The roles of sight and hearing in the lamb in the location and discrimination between ewes. *App. Anim. Ethol.*, 1, 167-176.
- 47.-Nowak, R., Poindron, P., and Putu, I. G. (1989). Development of mother discrimination by single and multiple newborn lambs. *Dev. Psychobiol.* 22, 833-845.
- 48.Nowak, R., Poindron, P., Le Neindre, P., and Putu, I. G. (1987). Ability of 12-hour-old merino and crossbred lambs to recognise their mothers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 17, 263-271.
- 49.Terrazas, A., Nowak, R., Serafin, N., Ferreira, A., Lévy, F., and Poindron, P. (2002). Twenty-four-hour-old lambs rely more on maternal behavior than on the learning of individual characteristics to discriminate between their own and an alien mother. *Dev. Psychobiol.* 40, 408-418.
50. Nowak, R., Murphy, T. M., Lindsay, D. R., Alster, P., Andersson, R., and Uvnäs Moberg, K. (1997). Development of a preferential relationship with the mother by the newborn lamb: importance of the sucking activity. *Physiol. Behav.* 62, 681-688.

Efecto del zinc orgánico en el comportamiento productivo, calidad de carne, perfil de ácidos grasos y expresión de genes asociados con el metabolismo de lípidos en ovinos y bovinos en engorde intensivo

Ignacio Arturo Domínguez-Vara

Correo electrónico: igy92@hotmail.com

Trabajo presentado en la

Sesión Solemne de Ingreso del

23 de agosto de 2022

Palabras clave: Zinc, crecimiento, calidad carne, ácidos grasos, expresión de genes, bovinos, ovinos.

RESUMEN

La complementación mineral, en dietas de ovinos y bovinos en engorda mejora la salud, bienestar y producción. El zinc (Zn^{2+}) estimula la lipogénesis, es componente estructural de la insulina, y en la célula muscular actúa como transportador; por lo tanto, es esencial en la señalización en respuesta al uso de energía por activar los transportadores ZIP y ZnT. En rumiantes el Zn afecta la terneza, marmoleo, color y pH, así como el crecimiento y calidad de canal, asociado, principalmente, con la lipogénesis en grasa intramuscular. Por su efecto lipogénico, el Zn puede afectar la expresión de enzimas del metabolismo lipídico del Longissimus dorsi. El objetivo de este trabajo consiste en revisar los efectos de incluir Zn en la dieta, sobre el rendimiento productivo, calidad de canal y carne, contenido de ácidos grasos y expresión génica en músculo de ovinos y bovinos en sistema intensivo.

Introducción

El Zn es un metal que se encuentra en diferentes valencias, la forma química combinable y estable es Zn^{+2} ; en reacciones biológicas no sufre oxidación o reducción, por lo tanto, en el organismo se transporta y usa fácilmente (1). El Zn es un oligoelemento esencial, importante en la nutrición y salud del humano y especies pecuarias (2, 3), desempeña importantes funciones en varios procesos metabólicos: participa en el sitio catalítico de varios sistemas enzimáticos (4), en la estructura de membranas biológicas (5), en el crecimiento y diferenciación celular (6) en el sistema inmunológico (7), regulación del ADN y la apoptosis (8). Hay una relación muy estrecha entre el Zn de las células beta del páncreas y la hormona insulina, interviniendo en la síntesis, almacén y secreción de esta, así como en su estructura hexamérica; el Zn representa cerca del 0.5% de la insulina cristalina del cuerpo (9). Brand y Kleineke (1996) (10) demostraron los puntos específicos de acción del Zn en el metabolismo de carbohidratos, indicando que este oligoelemento inhibe la enzima fosforilacinasasa, y con ello la gluconeogénesis; en contraste, activa las enzimas piruvatocinasa y fructosa 2,6 bifosfatasa/fosfofructocinasa-2, en consecuencia, estimula la glucólisis.

Las funciones del Zn están relacionadas con el metabolismo de carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, pero es un nutriente principalmente lipogénico (11, 12), asociado con la estimulación de la lipogénesis e inhibición de la lipólisis (13, 14) a través de la función insulínica (15).

Se ha demostrado que el uso dietario de zinc orgánico mejora las características de la canal, así como los atributos nutricionales y sensoriales de la carne, debido, principalmente a su efecto sobre la lipogénesis, por lo tanto, el zinc complementario puede estimular la lipogénesis y reducir la lipólisis (13, 14). Una de las dificultades para realizar estudios sobre el efecto de la complementación del Zn en la respuesta productiva, calidad de la canal y de la carne, y metabolismo de los nutrientes, radica en el control del aporte y biodisponibilidad del micromineral en los ingredientes que componen las dietas experimentales suministradas.

La inclusión de Zn en dietas para rumiantes ha demostrado distintos efectos sobre la fuerza de corte, color de la carne y valor del pH muscular. En bovinos y ovinos en engorda, el zinc puede mejorar el rendimiento productivo, grado de marmoleo de la chuleta y la calidad de la canal (16, 17,18), en gran parte por el mayor depósito de grasa intramuscular y agregación de lípidos en la célula. La inclusión de Zn en la dieta, al tener efecto lipogénico, puede afectar la expresión de enzimas del metabolismo de lípidos en el músculo *Longissimus dorsi* (19). Las fuentes orgánicas de minerales, en teoría, son más similares a las formas en que los minerales se encuentran en el organismo, por lo tanto, son más estables en el tubo digestivo y más biodisponibles que las fuentes inorgánicas; además, los minerales presentes en esta forma se protegen para que no reaccionen y formen complejos insolubles con otros componentes dietarios que interfieren con su absorción (20). Los minerales orgánicos o complejos metálicos

son productos de la unión de un ión metálico a un ligando, este es una molécula o ión que posee un átomo con un par de electrones libres. Al unirse el ión metálico al ligando, se genera un anillo con 4, 5, 6 ó 7 miembros. La Association of American Feed Control Officials (AAFCO), clasificó las fuentes orgánicas de minerales trazas en 6 categorías según el tipo de ligando (21): 1) Quelato metal aminoácido (resultado de la reacción de una sal metal soluble y un aminoácido), 2) Complejo metal aminoácido (se obtiene a partir de la unión de una sal metal soluble y uno o más aminoácidos), 3) Complejo metal aminoácido específico (producto resultado de la reacción de una sal metal soluble y un aminoácido específico, tiene una molécula muy consistente y una química estructural específica, ejemplo: Zn-metionina), 4) Metal proteinato (resultado de la quelación de una sal soluble con un aminoácido y/o una proteína parcialmente hidrolizada, 5) Metal polisacárido (resultado de la reacción de una sal metal soluble y una solución de polisacárido, 6) Metal ácido orgánico (producto de la unión de una sal metal y un ácido orgánico altamente soluble (22,23). Los minerales orgánicos con anillos de cinco miembros tienen la mayor estabilidad (24). Los aminoácidos y péptidos son ejemplos típicos de ligando, pueden donar electrones de ambos átomos, el nitrógeno del grupo amino y el oxígeno del grupo (22).

Los complejos de Zn orgánico tienen mayor efecto sobre la grasa de cobertura, grasa en

corazón, pelvis y riñón, en comparación con fuentes inorgánicas de Zn (11, 25). Por lo tanto, la suplementación con Zn influye en el rendimiento de la canal y la calidad de la carne. En ovinos de engorda intensiva, el metabolismo de lípidos difiere del de bovinos en engorda, los primeros depositan menos grasa intramuscular y más grasa de cobertura en la madurez; y se sabe poco del efecto de la fuente de Zn, Zn-metionina y ZnO en el crecimiento y calidad de la carne. Las fuentes inorgánicas de Zn que pueden usarse como complementos en nutrición animal son el sulfato ($ZnSO_4$), el carbonato ($ZnCO_3$), el cloruro ($ZnCl_2$) y el óxido (ZnO) (26).

Efecto del zinc metionina en la nutrición de bovinos

El suministro de Zn en la dieta de bovinos finalizados en corral favorece el depósito de grasa y marmoleo de la carne (27, 28). Se ha reportado que las fuentes orgánicas de Zn son más efectivas que las fuentes inorgánicas (11). Los bovinos en engorda requieren 30 mg de Zn kg^{-1} MS (29), pero se emplean de 49 a 93 mg de Zn kg^{-1} MS para mejorar el crecimiento y calidad de la carne. Nunnery *et al.* (2007) (26) observaron que la mejor respuesta productiva de novillos en engorda fue con 75 mg Zn kg^{-1} MS. Asimismo, Rodríguez-Gaxiola (2015) (16) indicó que 80 mg de Zn kg^{-1} MS de Zn metionina en toretes en engorda, afectó ($P=0.06$) la conversión alimenticia (Cuadro1).

Cuadro 1. Efecto de ZnMet sobre el rendimiento productivo y características de la canal de toretes en engorda intensiva.

Variable	ZnMet (ppm)		EEM ¹	P _≤
	0.0	80.0		
Peso canal caliente, kg	294.6	288.1	2.39	0.22
Peso vivo inicial, kg	314.5	314.9	0.09	0.10
Peso vivo final, kg	483.7	474.3	3.42	0.21
Consumo de materia seca, kg d ⁻¹	10.7	10.9	0.15	0.63
Ganancia diaria de peso, kg d ⁻¹	1.9	1.8	0.04	0.24
Conversión alimenticia, A/G	5.6	6.0	0.09	0.06
Rendimiento de la canal caliente, %	60.9	60.8	0.97	0.83
Grasa riñón, corazón y pelvis (RCP), %	2.05	2.07	0.06	0.90
Grado de marmoleo ²	456.7	446.7	8.60	0.58
Área <i>Longissimus dorsi</i> (LD), cm ²	71.1	71.3	1.02	0.91

¹EEM, error estándar de la media. ²Marmoleo (desprovisto, 300; ligero, 400; pequeño, 500; modesto, 600). Fuente: Rodríguez-Gaxiola (2015) (16).

Rodríguez-Gaxiola (2015) (16) reportó que la inclusión de ZnMet no afectó ($P > 0.05$) el grado de cobertura dorsal y la grasa de cavidad RCP. En contraste, Malcolm-Callis *et al.* (2000) (11), dieron 30 mg de Zn kg⁻¹ MS del complejo zinc-aminoácidos, zinc-carbohidratos y ZnSO₄ en dietas para novillos, observando mayor efecto en grasas de cobertura y de cavidad RCP que con el Zn inorgánico. Sin embargo, Greene *et al.* (1988) (27) observaron que el ZnMet (82 mg kg⁻¹ MS) en novillos, promovió mayor grasa externa y calidad de canales. Asimismo, Spears

y Kegley (2002) (28) indicaron que, en novillos, 83 mg kg⁻¹ MS, de proteinato de Zn, aumentó el peso de canal caliente y área de la chuleta.

Referente al efecto de Zn-Met en el color de la carne, Rodríguez-Gaxiola (2015) (16) observó que el Zn-Met redujo ($P = 0.06$) la intensidad del parámetro (b*, Cuadro 2), lo cual puede deberse al efecto de Zn sobre la oxidación de mioglobina a metamioglobina (30).

Cuadro 2. Efecto de ZnMet en las características fisicoquímicas y grado de engrasamiento de la carne de toretes en engorda intensiva.

Variable	ZnMet (ppm)		EEM	P<
	0	80		
pH a 24 h	6	6.1	0.02	0.30
Temperatura a 24 h, °C	2.3	2.4	0.1	0.73
Colorimetría				
L	21.4	21.9	1.0	0.72
A	2.5	3.4	0.45	0.24
b*	14.8	11.9	0.86	0.06
Materia seca, g kg ⁻¹	271.0	268.0	0.24	0.01
Cenizas, g kg ⁻¹	14.0	14.0	0.04	0.53
Proteína, g kg ⁻¹ BH	229.0	222.0	0.27	0.06
Capacidad de retención de agua, %	92.7	92.7	0.60	0.94
Pérdida por cocción, %	29.3	26.9	1.01	0.11
Fuerza de corte, kg/cm ²	9.6	8.5	0.67	0.27
Grasa intramuscular, g kg ⁻¹ BH	46.0	49.0	0.24	0.08
Espesor de la grasa dorsal, mm	5.6	8.4	0.44	0.22

EEM, error estándar de la media. Fuente: Rodríguez-Gaxiola (2015) (16).

Las variables fisicoquímicas, contenido de cenizas, proteína, capacidad de retención de agua, pérdida por cocción y terneza no fueron afectadas ($P>0.05$) por el Zn-Met en la dieta. En contraste, el contenido de grasa del

Longissimus dorsi aumentó ($P=0.08$) por el Zn-Met. El contenido de ácidos grasos en *Longissimus dorsi* no fue afectado ($P>0.05$) por el Zn-Met en toretes en engorda (Cuadro 3).

Cuadro 4. Efecto de la fuente de Zn sobre rendimiento productivo y características de la canal de corderos en engorda.

Variables	Testigo	ZnMet	ZnO	ZnMet+ZnO	EEM
Peso vivo inicial, kg	16.06	16.55	16.48	16.60	3.35
Peso vivo al sacrificio, kg	38.86	40.31	41.04	41.57	3.40
Ganancia de peso, g d ⁻¹ T	245.0 ^b	255.0 ^{ab}	264.0 ^{ab}	268.0 ^a	21.81
Consumo de materia seca, g d ⁻¹	1390	1365	1352	1392	145.4
Conversión alimenticia, kg MS ^T	5.67 ^a	5.35 ^{ab}	5.12 ^b	5.19 ^b	0.53
Eficiencia alimenticia, g kg ⁻¹ T	176.0 ^b	186.0 ^{ab}	195.0 ^a	192.0 ^{ab}	17.6
Peso canal caliente, kg	18.47	19.48	19.88	20.73	1.90
Peso canal fría, kg	17.97	19.00	19.35	20.22	1.89
Rendimiento comercial, %	47.71	48.45	48.36	49.41	1.64

EEM, error estándar de la media. T, efecto de tratamiento ($P\leq 0.05$). P, efecto del período de medición ($P\leq 0.05$). TxP, efecto de interacción tratamiento x período de medición ($P\leq 0.05$). Modificado de Rodríguez-Maya (2018) (18).

Efecto del zinc metionina en la nutrición de ovinos

La inclusión de Zn orgánico e inorgánico en la alimentación de pequeños rumiantes no ha sido explorada del todo. Hallazgos recientes (17, 18)

muestran efectos sobre la calidad de la carne y metabolismo de lípidos; Rodríguez-Maya (2018) (18) observó que la inclusión de ZnMet, ZnO y su combinación en corderos Katahdin x Dorper propició mayor ganancia de peso y

eficiencia alimenticia, respecto al testigo ($P < 0.05$) (Cuadro 4). Esto coincide con Spears y Kegley (2002) (28), quienes dieron a novillos en crecimiento ZnO y proteinato de Zn; 83 mg kg^{-1} MS), observando efecto en ganancia de peso. Guerrero-Barcena (2017) (17) no observó efectos de ZnMet y ZnMet con clorhidrato de zilpaterol (CZ) en dietas para corderos en engorda sobre la conversión y eficiencia alimenticias, y pesos de la canal caliente y fría.

En características de canal (Cuadro 5), el perímetro de pierna fue mayor con ZnMet y

Cuadro 5. Efecto de la fuente de zinc en características de canal de corderos en finalización.

Variables / tratamientos	Testigo	ZnMet	ZnO	ZnMet+ ZnO	EEM
<i>Evaluación morfométrica</i>					
Longitud de la canal intacta, cm	65.00	65.11	64.40	65.70	2.80
Longitud de pierna, cm	37.10	37.33	36.50	37.50	1.55
Perímetro de pierna, cm	34.70 ^{ab}	33.61 ^b	36.50 ^a	35.6 ^{ab}	1.93
Perímetro de grupa, cm	57.10	58.22	59.40	59.30	2.72
Ancho de grupa, cm	19.90	20.05	21.08	20.40	1.27
Ancho de tórax, cm	22.85	23.27	24.05	23.40	1.64
Profundidad de tórax, cm	16.75	17.00	16.75	17.35	1.13
<i>Conformación y grado de engrasamiento</i>					
² Conformación muscular (European Community) ^{NS§}	O	O	R	R	-
³ Conformación muscular (NMX-FF-106-SCFI-2006) ^{NS§}	B	B	B	B	-
Área de la chuleta, cm^2	14.56	15.67	15.71	16.31	2.71
⁴ Grado de engrasamiento ^{NS†}	2.0	2.0	2.5	2.0	-
⁵ Grasa interna (riñón) ^{*†}	2.0 ^a	2.0 ^a	1.0 ^b	2.0 ^a	-
Grasa dorsal 12 ^a costilla, mm	2.1	2.33	2.0	2.5	0.76

EEM, error estándar de la media. §Moda. †Mediana. *Probabilidad de χ^2 entre pares de tratamientos significativa ($P \leq 0.05$). NS, Probabilidad de χ^2 entre pares de tratamientos no significativa ($P \geq 0.05$). ²(E, excelente; U, muy buena; R, buena; O, normal; P, pobre). ³(E, excelente; B, buena; D, deficiente). ⁴(1, muy magra - 5, muy grasa). ⁵(1, riñones descubiertos; 2, riñones con gran ventana; 3, Riñones con pequeña ventana; 4, Riñones cubiertos totalmente). Modificado de Rodríguez-Maya (2018) (18).

Respecto al efecto del Zn en la grasa intramuscular y grado de marmoleo del Longissimus dorsi de ovinos, los tratamientos ZnMet y ZnO mostraron valores mayores ($P < 0.05$) (Cuadro 6). La grasa intramuscular está asociada con el sabor, jugosidad y terneza

ZnO ($P < 0.05$); el peso de canal caliente y fría, y rendimiento verdadero no fue diferente ($P > 0.05$). La conformación muscular de la canal fue de normal a buena, de forma recta a cóncava. El perímetro de pierna aumentó con el ZnO, relacionado con mayor depósito de grasa intramuscular y de cobertura. Guerrero-Bárcena (2017) (17) no observó efectos de ZnMet en características de la canal de corderos.

de la carne. Además, la grasa renal disminuyó ($P < 0.05$) con el ZnO. Esto coincide con McBeth (2005) (31), quien suministró a novillos en finalización, ZnSO_4 y ZnMet, encontrando diferencias en marmoleo y grasa renal. Guerrero-Barcena (2017) (17) observó efecto de

ZnMet en el contenido de grasa intramuscular de carne de corderos. La terneza de la carne fue diferente ($P<0.05$) entre tratamientos, con valor menor en ovinos con ZnMet+ZnO, por lo tanto, su carne fue más suave, probablemente debido a la edad de los ovinos y contenido de grasa intramuscular promovido por ambas fuentes de Zn de la dieta (32). La terneza de la

carne es afectada por proteínas miofibrilares, cantidad y composición del tejido conectivo (33) y por las metaloproteinasas de la matriz (MMPs) dependientes de Zn en la miogénesis, así como por el aumento del tamaño de las fibras musculares y la adipogénesis (34) durante el crecimiento del animal (35).

Cuadro 6. Efecto de la fuente de Zn sobre las características de la canal y calidad de la carne de corderos en engorda con alimentación intensiva.

VARIABLES / TRATAMIENTOS	TESTIGO	ZnMet	ZnO	ZnMet+ZnO	EEM
Materia seca músculo, g kg ⁻¹	316.38	299.59	301.37	284.33	57.6
Pérdida de agua, %	29.49	29.84	30.98	31.14	30.88
Proteína muscular, g kg ⁻¹ MS	197.52	191.86	206.02	200.78	22.03
Extracto etéreo, %	7.10 ^b	9.16 ^a	8.63 ^a	8.19 ^{ab}	1.64
Grado de marmoleo, %	7.36 ^b	8.63 ^a	8.42 ^a	8.04 ^{ab}	0.009
Fuerza de corte, kgf cm ²	3.00 ^a	3.07 ^a	3.35 ^a	2.45 ^b	0.93
Calidad de carne					
Color L ^{Tr}	37.9	38.24	36.86	36.71	0.88
a ^{Ti}	11.34	12.09	12.62	11.51	0.63
b ^{Ti}	7.61	6.98	7.25	7.39	0.41
c ^{Ti}	14.76	14.55	15.13	14.12	0.68
h ^{Ti}	33.74	32.86	30.07	34.33	1.61
pH ^{Ti}	5.58	5.5	5.48	5.55	0.73
<i>Estabilidad oxidativa de la carne cruda</i>					
Oxidación de lípidos, mg MDA/kg carne ^{Ti}	0.12	0.13	0.14	0.17	0.01
Color L	40.59	39.9	40.81	38.76	0.80
a ^{Tr, Ti}	15.47	17.26	17.24	17.36	0.47
b ^{Ti}	9.00	12.15	13.05	16.18	2.70
Pérdida por cocción, %	35.47	36.47	30.57	34.49	1.73
<i>Estabilidad oxidativa de la carne cocinada</i>					
Oxidación de lípidos, mg MDA/kg carne ^{TrxTi}	1.61	1.82	1.49	1.19	0.05

EEM, error estándar medio. Tr, efecto de tratamiento ($P<0.05$); Ti, efecto de tiempo de maduración (0-21 d de medición) ($P<0.05$); TrxTi, efecto de interacción tratamiento con tiempo de maduración ($P<0.05$). kgf= kg fuerza. MDA, malondialdehído. Modificado de Rodríguez-Maya (2018) (18).

Las diferencias entre tratamientos para marmoleo, grasas intramuscular y renal, pueden deberse a la sobreexpresión del transportador ZnT7 en respuesta a la fuente de zinc y nivel de inclusión en la dieta. Debido a que se promueve la fosforilación de Akt y IRS2 en células del tejido muscular (19), las cuales modulan los efectos de la insulina, IGF-1 y otras citocinas. A nivel de músculo esquelético, el transportador ZIP7 controla la glicemia (36) y depósito de Zn, permitiendo mayor diferenciación de mioblastos y formación de miofibrillas (37), con niveles óptimos de Zn a nivel celular (38) aportados en la dieta.

Rodríguez-Maya (2018) (18) observó que la oxidación de lípidos (Cuadro 6), fue retrasada con el tratamiento ZnMet+ZnO. Además, hubo efecto ($P<0.05$) de tiempo de maduración sobre la oxidación de lípidos de carne cruda. En este sentido, el Zn reduce los procesos oxidativos (38). Sin embargo, la estabilidad oxidativa en carne cocida fue afectada ($P<0.05$) por la interacción de fuente de Zn y tiempo de maduración. Los resultados de Rodríguez-Maya (2018) difieren de los de O'Grady *et al.* (1998) (40), en *Biceps femoris* de bovinos, donde el contenido de TBARS aumentó con la madurez de la carne. La oxidación lipídica de la carne está relacionada con el contenido de ácidos grasos insaturados, presencia de oxígeno y minerales como el Fe (30), lo cual repercute en el color y oxidación de lípidos. Por lo tanto, los cambios de oximioglobina (OxyMb) a metamioglobina (MetMb) y en el

parámetro de color a^* , están relacionados con el contenido de TBARS (41).

Referente al efecto de Zn sobre el color de la carne, la luminosidad a 24h post matanza (Cuadro 6) en el tratamiento ZnMet+ZnO fue menor ($P<0.05$), comparado con el resto; probablemente por asociación positiva de Zn y Fe con la mioglobina. En contraste, la grasa intramuscular reduce la proporción rojizo:marrón en la carne de ovinos, debido a la correlación entre el contenido de lípidos intracelulares y extracelulares (42), y a que el aumento de la grasa intramuscular está asociado con el aumento de lípidos intracelulares (43).

En el estudio realizado por Rodríguez-Maya (2018) (18) sobre el perfil de ácidos grasos en grasa intramuscular de *Longissimus dorsi* (Cuadro 7), el ácido mirístico fue más abundante ($P\leq 0.05$) en la carne de corderos que no fueron suplementados con Zn y menos en la carne de los corderos con el tratamiento con ZnO. Sin embargo en los tratamientos con Zn-Met y ZnO tuvieron contenido similar ($P>0.05$) de ácido palmítico. El contenido de ácido palmitoleico fue más alto ($P\leq 0.05$) en la carne de los corderos con alimentados con Zn-Met+ZnO y menor que la de corderos con Zn-Met. También hubo diferencias ($P\leq 0.05$) en el contenido de ácido araquídico con un valor más alto en el tratamiento de Zn-Met. El resto de ácidos grasos tuvieron contenidos similares ($P>0.05$).

Cuadro 7. Contenido de ácidos grasos en *Longissimus dorsi* de ovinos en engorda alimentados con una dieta base más la inclusión de ZnMet, ZnO o su combinación.

Ácido graso (g 100 g EMAG)	Testigo	ZnMet	ZnO	ZnMet+ZnO	EEM	P
Caprico C10:0 ¹	0.28	0.27	0.20	0.25	0.092	0.926
Laurico C12:0 ¹	0.02	0.06	0.20	0.87	0.351	0.330
Mirístico C14:0 ^{1T}	2.67 ^a	2.47 ^{ab}	1.55 ^b	1.95 ^{ab}	0.070	0.015
Palmitico C16:0 ¹	25.92	25.01	26.88	26.69	2.648	0.490
Esteárico C18:0 ¹	16.45	15.26	15.68	15.70	2.551	0.823
Heptadecanoico C17:0	0.70	0.97	1.43	1.01	0.980	0.527
Heptadecanoico cis-10	0.71	0.59	0.90	0.90	0.449	0.447
Palmitoleico C16:1 ^{2T}	1.73 ^{ab}	0.77 ^b	1.44 ^{ab}	2.78 ^a	0.931	0.008
Oleico C18:1 n-9 ²	43.47	44.26	43.9	41.02	3.074	0.168
Araquídico C20:4 ^{3T}	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.06 ^b	0.05 ^b	0.015	0.036
Linoleico C18:2n-6 ³	3.320	3.420	3.290	3.700	0.931	0.803
AG saturados ¹	46.02	44.03	45.84	46.05	3.037	0.490
Monoinsaturados ²	45.21	44.65	45.16	43.81	3.185	0.802
Poliinsaturados ³	3.38	3.50	3.34	3.76	0.928	0.801
Insaturados ⁴	48.60	48.15	48.51	47.58	3.070	0.908
Total de AG	95.34	92.77	95.26	94.43	2.082	0.070

EMAG, ésteres metílicos de ácidos grasos. EEM, error estándar de la media. Tr, efecto de tratamiento ($P \leq 0.05$). ¹Saturados = \sum C10:0, C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0. ²Monoinsaturados = \sum C16:1, C18:1, C18:1n-7. ³Poliinsaturados = \sum C18:2, C20:4. ⁴Insaturados = (\sum C16:1, C18:1, C18:1n-7) + (\sum C18:2, C20:4). Modificado de Rodríguez-Maya (2018) (18).

De acuerdo con Guerrero-Bárcena *et al.* (2023) (44), el contenido, en grasa intramuscular, de los ácidos grasos esteárico (C18:0) y araquídico (C20:0) fue reducido ($p \leq 0.05$) por efecto del clorhidrato de zilpaterol (CZ), pero los ácidos grasos palmitoleico (C16:1), eicosatetraenoico (C20:4n6) y linoleico conjugado aumentaron ($p \leq 0.05$) por efecto del CZ. El Zn de ZnMet sin CZ aumentó ($p \leq 0.05$) los ácidos grasos palmitoleico (C16:1) y linoleico conjugado; la interacción CZ con ZnMet aumentó ($p \leq 0.05$) el contenido de los ácidos grasos linoleico (C18:2c9c12), linolénico (C18:3c9c12c15) y eicosatetraenoico (C20:4n6). Asimismo, la interacción de CZ con ZnMet influyó en el contenido total de ácidos grasos saturados, insaturados y poliinsaturados ($p \leq 0.05$).

Efecto del Zn orgánico sobre la expresión de genes en músculo

La reducción de grasa en tejido adiposo resulta en mayor disposición de lípidos de la dieta en tejidos no adiposos como músculo e hígado (19). En la célula, la homeostasis del Zn es regulada por los transportadores Slc39a y Slc30a (45), encargados de absorber o exportar Zn a todos los tejidos o células específicas (46, 47). El transportador Znt7 (Slc30a7) es expresado en todos los tejidos, pero con distinta intensidad, por ej. aumenta en el sarcoplasma de las miofibras, pero está ausente en hepatocitos (19), esto sugiere actividad específica en músculo, por lo tanto, la acumulación de grasa intracelular y perfil de ácidos grasos, depende de este transportador.

Así lo corroboraron Huang *et al.* (2018) (19), al examinar la expresión de *Znt7-Knockout* en ratones, donde aumentó la capacidad oxidativa de ácidos grasos, por la expresión de enzimas claves en la lanzadera mitocondrial de ácidos grasos y en la β oxidación en músculo. Por lo tanto, la disfunción de *Znt7* o exceso de lípidos dietarios, causan acumulación intracelular en músculo y cambios en el perfil de ácidos grasos. En un estudio Guerrero-Bárcena *et al.* (2023) (44), evaluaron la expresión relativa de transcritos de seis enzimas involucradas en el metabolismo de lípidos en músculo *Longissimus dorsi* de corderos Suffolk en engorda; se consideró la expresión del grupo control igual a 1, para observar la variación de genes entre los grupos tratados con ZnMet, clorhidrato de zilpaterol, y su combinación. El CZ aumentó ($p \leq 0.05$) la expresión relativa de ARNm del gen de las enzimas lipoproteína lipasa (LPL), hormona sensible lipasa (HSL), glicerol -3- fosfato aciltransferasa (GPAT1) y aciltransferasa diglicérido (DGAT1). El ZM sin CZ aumentó ($P \leq 0.05$) la expresión relativa de ARNm del gen de las enzimas acetil-CoA carboxilasa (ACC), hormona sensible lipasa (HSL), monoglicérido lipasa (MGL) y DGAT1. La interacción ZM con CZ aumentó ($p \leq 0.05$) la expresión relativa de ARNm de los genes de las enzimas HSL y ACC. Por lo tanto, los autores concluyeron que ambos aditivos influyeron en la expresión relativa de ARNm de genes involucrados en el metabolismo de los ácidos grasos. Estos hallazgos son inéditos sobre la complementación de Zn-Met en la dieta, lo cual coincide con Gallardo *et al.* (2019) (48)

quienes, observaron, en dos razas de corderos en pastoreo, sin suministrar Zn, niveles inferiores en la expresión relativa de ARNm de ACC.

Conclusiones

El Zn promueve el depósito de grasa intramuscular en carne de rumiantes en finalización, no obstante, el perfil de ácidos grasos es similar entre tratamientos con y sin Zn, pero se requieren estudios específicos para confirmar esto último. El Zn mejora la estabilidad oxidativa de lípidos de carne ovina a medida que madura y repercute en color, pH, ternura y marmoleo. La inclusión de Zn en dietas de ovinos en engorda afecta la expresión de enzimas del metabolismo lipídico del *Longissimus dorsi*.

Agradecimientos. A los Dres. José Luis Bórquez Gastelum, Ernesto Morales Almaraz, Juan E. Sánchez Torres y Daniel Trujillo Gutiérrez, integrantes del Cuerpo Académico en Producción Animal: Nutrición y Alimentación de Especies Pecuarias; Dres. Rubén Barajas Cruz, Miguel A. Rodríguez Gaxiola y Juan M. Pinos Rodríguez, por su colaboración en los estudios realizados, citados en el presente manuscrito. A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, al CONACyT y la Secretaría de Educación Pública, por el financiamiento otorgado a través de los proyectos de investigación para llevar a cabo los estudios y la formación de recursos humanos.

Referencias

1. Groff, J.L. and S.S. Gropper. (2000). Microminerals. En: Groff JL, Gropper SS, editors. Advanced nutrition and human metabolism. Third edition. Belmont CA: Wadsworth/Thomson Learning. p.401-469.
2. NRC National Research Council. (2005). Mineral tolerance of animals. 2nd revised ed. Washington, DC. The National Academic Press. USA.
3. NRC National Research Council. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington, DC. The National Academy Press. USA.
4. McCall, K.A., Ch. Huang, and C.A. Fierke. (2000). Function and mechanism of zinc metalloenzymes. *J. Nutr.* 130:1437S-1446S.
5. O' Dell, B.L. (2000). Role of zinc in plasma membrane function. *J. Nutr.* 130:1432S-1436S.
6. Chen, M.D., M.D. Chen, P.Y. Lin, P.S. Chen, V. Cheng, and W.H. Lin. (1997). Zinc attenuation of GDP binding to brown adipocytes mitochondria is genetically obese (ob/ob) mice. *Biol. Trace. Elem. Res.* 57:139-145.
7. Klaus-Helge, I., and R. Lothar. (2000). Zinc-altered immune function. *J. Nutr.* 133:1452S-1456S.
8. Mac Donald, R.S. (2000). The role of zinc in growth and cell proliferation. *J. Nutr.* 1500S-1508S.
9. Chausmer, A.B. (1998). Zinc, insulin and diabetes. *J. Am. Coll. Nutr.* 17:109-115.
10. Brand, I.A., and J. Kleineke. (1996). Intracellular zinc movement and its effect on the carbohydrate metabolism of isolated rat hepatocytes. *J. Biol. Chem.* 271:1941-1949.
11. Malcolm-Callis, K.J., Duff. G.C., Gunter, S.A, Kegley, E.B. and Vermeire, D.A. (2000). Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 78:2801-2808.
12. Oh, Y.S. and Choi, C.B. (2004). Effects of zinc on lipogenesis of bovine intramuscular adipocytes. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 17:1378-1382.
13. Coulston, L. and Dandona, P. (1980). Insulin-like effect of zinc on adipocytes. *Diabetes.* 29:665.
14. May, J.M. and Contoreggi, C.S. (1982). The mechanism of the insulin-like effects of ionic zinc. *J. Biol. Chem.* 257:4362-4368.
15. Park, K.S., N.G. Lee, K.H. Lee, J.T. Seo, K.Y. Choi. (2003). The ERK pathway involves positive and negative regulations of HT-29 colorectal cancer cell growth by extracellular zinc. *Am. J. Physiol. Gastrointes. Liver Physiol.* 285:1181-1188.
16. Rodríguez-Gaxiola, M.A. (2015). Efecto de la complementación dietaria del clorhidrato de zilpaterol y su interacción con zinc y cromo orgánicos en la respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de bovinos y ovinos en engorda intensiva. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. FMVZ-UAEMex. Toluca, México. 114 p.

17. Guerrero-Bárcena. (2017). Efecto de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y zinc orgánico en la respuesta productiva, metabólica y calidad de la carne de ovinos en engorda intensiva. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. 95 p.
18. Rodríguez-Maya, M.A. (2018). Efecto del zinc orgánico (Zn-metionina) y zinc inorgánico (ZnO) en la respuesta productiva, características de la canal y calidad de carne de ovinos en engorda con alimentación intensiva. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. FMVZ-UAEMex. Toluca, México. 90 p.
19. Huang, L., Tapaamorndech, S., Kirschke, C. P., Newman, J.W., Keyes, W.R., Pedersen, T.L., and Dum, J. (2018). Aberrant fatty acid metabolism in skeletal muscle contributes to insulin resistance in zinc transporter 7 (*Znt7*)-knockout mice. *J. Biol. Chem.* 293:7549-7563.
20. Dudley-Cash, W.A. (1997). Organic form of zinc may provide additional benefits in poultry. *Feedstuffs.* 6:11-17.
21. A.A.F.C.O. Association of american feed control officials. (1997). Official publication. Atlanta, GA, USA.
22. Fakler, T.M. and Johnson, A.B. (1997). Trace mineral complex and poultry production. Internal report. Zinpro Corporation, Eden Prairie, Minnesota, USA. Pp. 1-12.
23. Miles, R.D. and Henry, P.R. (1999). Trace mineral bioavailability. California Animal Nutrition Conference. Pp. 1-16.
24. Hynes, M.J. and Kelly, M.P. (1995). Metal ions, chelates and proteinates. *Biotechnology in the feed industry.* Nottingham Press, Nottingham. U.K. pp. 233-248.
25. Nunnery, G.A., Vasconcelos, J. T., Parsons, C. H., Salyer, G. B., Defoor, P. J., Valdez, F. R., and Galyean, M. L. (2007). Effects of source of supplemental zinc on performance and humoral immunity in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 85:2304-2313.
26. Ammerman, C.B., Henry, P.R. and Miles, R.D. (1995). Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals and vitamins. Academic Press, New York, N.Y., USA.
27. Greene, L.W., Lunt, D.K., Byers, F.M., Chirase, N.K., Richmond, C.E., Knutson, R.E., and Schelling, G.T. (1988). Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *J. Anim. Sci.* 66:1818-1823.
28. Spears, J.W. and Kegley, E.B. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs. zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 80:2747-2752.
29. National Research Council. (2016). Nutrient requirements of beef cattle. 8th ed. National Academic Press, Washington, D.C.
30. Faustman C., Sun, Q., Mancini, R., and Suman, S.P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Sci.* 86:86-94.
31. McBeth, L. J., D. R. Stein, A. T. V. Pillai, M, J. Hersom, C. R. Krehbiel, U. De Silva, R. D. Geisert, J. R. Malayer, J. B. Morgan, C. K. Larson, and R. L. Ball. (2005). Effect of zinc source and level on finishing cattle

- performance, carcass characteristics, and adipocyte differentiation. *Okla. Agr. Exp. Sta. Res.* 4:1-9.
32. Mortimer, S.I., van der Werf, J.H.J., Jacob, R.H., Hopkins, D.L., Pannier, L., Pearce, K.L., Gardner, G.E., Warner, R.D., Geesink, G.H., Hocking Edward, J.E., Ponnampalam, E.N., Ball, A.J., Gilmour, A.R., and Pethick, D.W. (2013). Genetic parameters for meat quality traits of Australian lamb meat. *Meat Sci.* 96:1016-1024.
33. Christensen, S., and Purslow, P.P. (2016). The role of matrix metalloproteinases in muscle and adipose tissue development and meat quality: A review. *Meat Sci.* 119:138-146.
34. Chavey, C., Mari, B., Monthouel, M. N., Bonnafous, S., Anglard, P., Van Obberghen, E., and Tartare-Deckert, S. (2003). Matrix metalloproteinases are differentially expressed in adipose tissue during obesity and modulate adipocyte differentiation. *J. Biol. Chem.* 278:11888-11896.
35. Purslow, P. (2005). Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Sci.* 70:435.
36. Myers, S.A., Nield, A., Chew, G.S., and Myers, M.A. (2013). The zinc transporter, *Slc39a7* (*Zip7*) is implicated in glycaemic control in skeletal muscle cells. *PLoS One* 8:e79316.
37. Ohashi, k., Nagata, Y., Wada, E., Zammit, P.S., Shiozuka, M., and Matsuda, R. (2015). Zinc promotes proliferation and activation of myogenic cells via the P13K/Akt and ERK signaling cascade. *Exp. Cell Res.* 333:228-237.
38. Paskavitz, A.L., Quintana, J., Cangussu, D., Taver-Montañez, C., Xiao, Y., Ortiz-Miranda, S., Navea, J.G. and Padilla-Benavides, T. (2018). Differential expression of zinc transporters accompanies the differentiation of C2C12 myoblasts. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 49:27-34.
39. Powell, S. (2000). The antioxidant properties of zinc. *J. Nutr.* 130:1447S-1454S.
40. O'Grady, M.N., Monahan, F., Bailey, J., Allen, P., Buckley, D., Keane, M. (1998). Colour-stabilising effect of muscle vitamin E in minced beef stored in high oxygen packs. *Meat Sci.* 50:73-80.
41. Zakrys, P.I., Hogan, S.A., O'Sullivan, M.G., Allen, P., and Kerry, J.P. (2008). Effects of oxygen concentration on the sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere. *Meat Sci.* 79:648-655.
42. Essén-Gustavsson, B., Karlsson, A., Lundström, K., and Enfält, A.C. (1994). Intramuscular fat and muscle fibre lipid contents in halothane-gene-free pigs fed high or low protein diets and its relation to meat quality. *Meat Sci.* 38:269-277.
43. Calnan, H.B., Jacob, R.H., Pethick, D.W., and Gardner, G.E. (2014). Factors affecting the colour of lamb meat from the longissimus muscle during display: The influence of muscle weight and muscle oxidative capacity. *Meat Sci.* 96:1049-1057.
44. Guerrero-Bárcena, M., Domínguez-Vara, I.A., Morales-Almaraz, E., Sánchez-Torres, J.E., Bórquez-Gastelum, J.L., Hernández-Ramírez, D., Trujillo-Gutiérrez, D., Rodríguez-

Gaxiola, M.A., Pinos-Rodríguez, J.M., Velázquez-Garduño, G., and Grageola-Nuñez F. 2023. Effect of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on growth, carcass traits, meat quality, fatty acid profile and gene expression in *Longissimus dorsi* muscle of sheep in intensive fattening. *Agriculture*. 13:684. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030684>

45. Thirumoorthy, N., Sunder, S., Kumar, M., Kumar, S., Ganesh, G., Chatterjee, M. (2011). A review of metallothionein isoforms and their role in pathophysiology. *World J. Surg. Oncol.* 9: 54.

46. Huang, L., and Tapaamorndech, S. (2013). The SLC30 family of Zn transporters: review of current understanding of their biological and pathophysiological roles. *Mol. Aspects Med.* 34:548.

47. Jeong, J., and Eide, D. (2013). The SLC39 family of zinc transporters. *Mol. Aspects Med.* 34:612.

48. Gallardo, M., Arias-Darraz, L., and Cárcamo, J. (2019). Effect of breed on transcriptional and protein expression of lipogenic enzymes in tail and subcutaneous adipose tissue from two grazing breeds of lambs. *Animals*. 9:1-11.

Aproximación al control del murciélago hematófago *Desmodus rotundus* desde un enfoque ecológico

**Juan José Pérez Rivero
Cruz y Celis**

Correo electrónico:
jperezr@correo.xoc.uam.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del**

30 de agosto de 2022

RESUMEN

El *Desmodus rotundus* pertenece a la familia Phyllostomidae, habita desde México hasta Sudamérica, se le considera el principal transmisor de rabia al ganado y a los humanos en sitios donde la rabia en perros se encuentra bajo control. Las construcciones abandonadas pueden ser utilizadas como refugios, favoreciendo su cercanía con poblaciones humanas y animales incrementando el riesgo de rabia. Se realizan actividades de captura y vigilancia epidemiológica, realizando tratamiento letal en la mayoría de los animales, sin embargo, solo resultan positivos a rabia alrededor del 1.5%. Si bien su tasa de nacimientos en baja, se propone desarrollar tratamientos complementarios y selectivos para el control reproductivo a base de fitoestrógenos, los cuales son disruptores endocrinos de origen natural generando alteraciones compatibles con daño reproductivo. Se necesita más investigación para poder determinar su utilidad, dosis, vía de administración idónea, intervalo de dosificación y el periodo de tiempo para implementarlo.

Palabras clave: *Desmodus rotundus*, control letal, control reproductivo, fitoestrógenos, control de poblaciones.

Introducción

El *Desmodus rotundus* pertenece a la familia *Phyllostomidae* y al orden *Chiroptera*, habita desde México hasta Sudamérica, se le ha considerado el principal transmisor de rabia parálitica bovina y de la rabia en humanos en sitios donde la rabia en perros se encuentra bajo control. Esta enfermedad una vez presentados los signos clínicos tiene un desenlace mortal, de ahí su importancia en Salud Pública y Animal.

Este pequeño murciélago se alimenta exclusivamente de sangre de mamíferos tanto domésticos como silvestres, en el caso del ganado les produce debilidad por la pérdida de sangre en el sitio de la mordedura, lo que favorece la aparición de infecciones secundarias, las cuales repercuten de manera negativa en la producción animal (1, 2).

El *Desmodus rotundus* a menudo forma pequeñas colonias de pocos individuos, sin embargo, se pueden observar centenas de ellos repartidos en una amplia gama de refugios diurnos y nocturnos tanto naturales como artificiales, estos últimos contruidos por el hombre (1).

La desurbanización no controlada derivada del cambio de hábitat de las poblaciones humanas, las cuales han migrado de regiones rurales hacia zonas

urbanas, genera el abandono de las construcciones, lo cual favorece la presencia de vida silvestre que las utilizan como refugios, lo que incrementa el riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas (3).

En el caso del *Desmodus rotundus* un estudio reciente realizado en San Luis Potosí México, se determinó que el 80% de los refugios eran artificiales y de estos el 57% se encontraban habitados, además, se determinó que la distancia media entre estos refugios hasta el primer asentamiento con población humana fue de 518.65 ± 11.33 metros, distancia que puede ser recorrida con facilidad para la búsqueda de alimento, lo que implica que hay una interacción a distintos niveles y frecuencia de contacto con humanos (4).

En el caso de la rabia parálitica bovina, esta se presenta en México de forma endémica en 25 estados del Pacífico, Golfo de México y Península de Yucatán. Durante 2020 se reportaron a nivel nacional 239 casos (5). A pesar de las medidas de prevención y control mediante el tratamiento letal con vampiricida (anticoagulantes) del *Desmodus rotundus* y la vacunación antirrábica del ganado, se continúan presentando casos de esta enfermedad, inclusive la distribución geográfica de este transmisor se ha ampliado,

situación que puede continuar, según estudios donde se ha modelizado la asociación entre las condiciones medioambientales, el cambio climático y la presencia de este murciélago hematófago (1, 4, 6, 7).

Las enfermedades infecciosas pueden transmitirse tanto dentro como entre animales silvestres, domésticos y poblaciones de huéspedes humanos, estas representan casi el 75% de los padecimientos que se presentan en las poblaciones humanas en el último siglo. Derivado de lo anterior, se ha planteado el control letal de las especies animales consideradas transmisoras de enfermedad, con el objetivo disminuir el número y la densidad de animales infectados y susceptibles, sin embargo, no cumple con el objetivo de control ya que su efecto es transitorio, además se ha sugerido que esta estrategia de control puede ser contraproducente, primero por que favorece la dispersión de animales infectados, lo que puede generar infecciones en otras poblaciones de vampiros sin evidencia de enfermedad y segundo, estas estrategias pueden afectar otras especies de murciélagos, los cuales desempeñan papeles vitales en la polinización, dispersión de semillas, y/o control de insectos, afectando tanto

a la salud forestal como a la agricultura (8, 9, 10).

El coumestrol es un fitoestrógeno con actividad similar a los estrógenos, se encuentra presente en el germen de soya (*Glycine max*) y la alfalfa (*Medicago sativa*), puede actuar como agonista o antagonista estrogénico ya que al igual que los estrógenos se unen a los receptores estrogénicos tanto alfa como beta, los cuales se encuentran presentes en tejido reproductivo (ovarios, testículo, útero) y no reproductivo (hígado, pulmón, huesos, corazón) tanto en el macho como en la hembra. Una ventaja de este compuesto es que se puede detectar su presencia mediante fluorescencia cuando se encuentra unido a los receptores estrogénicos (11).

De manera experimental se ha administrado al *Desmodus rotundus* 200µg de coumestrol en 15 ml de sangre de bovino desfibrinada como alimento de manera diaria, durante un periodo de 30 días, induciendo cambios que sugieren disminución de la función testicular, al observarse reducción de la celularidad del epitelio germinal y del intersticial (12).

Todo lo anterior abre la oportunidad para proponer estrategias complementarias como el control

reproductivo utilizando para este fin a los fitoestrógenos.

Material y métodos

Se realizó una revisión de los datos oficiales con acceso abierto relacionados con las actividades de vigilancia epidemiológica prevención y control de la rabia parálitica bovina (5). Se identificó la información relacionada con la cantidad de *Desmodus rotundus* capturados y tratados con anticoagulantes a nivel nacional, de manera adicional se obtuvo la cantidad de animales enviados a laboratorio que resultaron positivos para rabia.

Durante los operativos de captura y tratamiento letal del *Desmodus rotundus* del Comité Estatal para la Promoción y Protección de la Ganadería de San Luis Potosí (CEFPPSLP), en el municipio de Matehuala, se capturaron animales para la actividad de vigilancia epidemiológica (vigilancia de rabia), de los cuales se seleccionaron 6 vampiros machos adultos con testículos escrotados, cuatro de los cuales fueron tratados de manera individual por vía cutánea untándoles una pasta de vaselina conteniendo 700 µg de coumestrol. Todos los animales fueron colocados en jaulas individuales y alimentados con 15 ml de sangre de bovino desfibrinada durante 3 días, al

término del periodo se les realizó eutanasia con una dosis intratorácica de pentobarbital sódico. Se diseccionaron los testículos, los cuales fueron fijados en solución de Bouin y procesados de manera convencional por inclusión en parafina, seccionados a 5 micras, montados en laminillas y evaluados mediante microscopía de fluorescencia (OptiZoom®) para detectar la señal emitida por la unión del coumestrol con los receptores estrogénicos. Se obtuvieron microfotográficas, en cada una de ellas se analizaron 256 puntos al azar para determinar la intensidad de la fluorescencia emitida con una longitud de onda de 532-559 nanómetros (verde) con el programa ZEN Blue Lite Carl Zeiss, se compararon las intensidades entre los animales del grupo control y tratado mediante una prueba de “t” utilizando el programa PAST.

Resultados

Según reportes oficiales de la Dirección de Campañas Zoonosológicas de SENASICA, en 2017 se capturaron 27,595 murciélagos vampiros de los cuales se les aplicó tratamiento con anticoagulantes a 26,305 (95.3%), para 2018 se capturaron 22,680, recibiendo tratamiento letal 21,558 (95.0%), en 2019, se capturaron 20,566, siendo tratados 19,087 (92.8%) y para 2020 se

capturaron 19,182 vampiros, siendo tratados 17,882 (93%).

Los estados que reportan mayor número de operativos de captura y tratamiento letal son en 2017 fueron Hidalgo (127), Nayarit (95), Puebla (86), Quintana Roo (111) y Yucatán (101), para 2018 fueron Guerrero (91), Hidalgo (84), Yucatán (79) y Veracruz (62). Para el 2019 fueron Guerrero

(113), Hidalgo (106), San Luis Potosí (71) y Yucatán (140). En 2020 fueron Hidalgo (60), Puebla (68), San Luis Potosí (64) y Veracruz (63).

La proporción de animales capturados y enviados a laboratorio que tuvieron resultado positivo para rabia se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporción e intervalo de confianza al 95% (IC95%) de murciélagos hematófagos con resultado positivo a rabia por laboratorio (5).

Año	Enviados laboratorio	Positivos a rabia	Proporción de positivos a rabia	IC95% menor	IC95% mayor
2017	1196	17	1.42	0.89	2.26
2018	1107	15	1.35	0.82	2.22
2019	1333	7	0.5	0.25	1.08
2020	1096	15	1.36	0.83	2.25

Los testículos del grupo control mostraron una intensidad de fluorescencia (verde) de 6.0 ± 0.84 , mientras que en el grupo tratado con coumestrol fue de 18.8 ± 1.3 , ($p < 0.05$) como se muestra en la Figura 1.

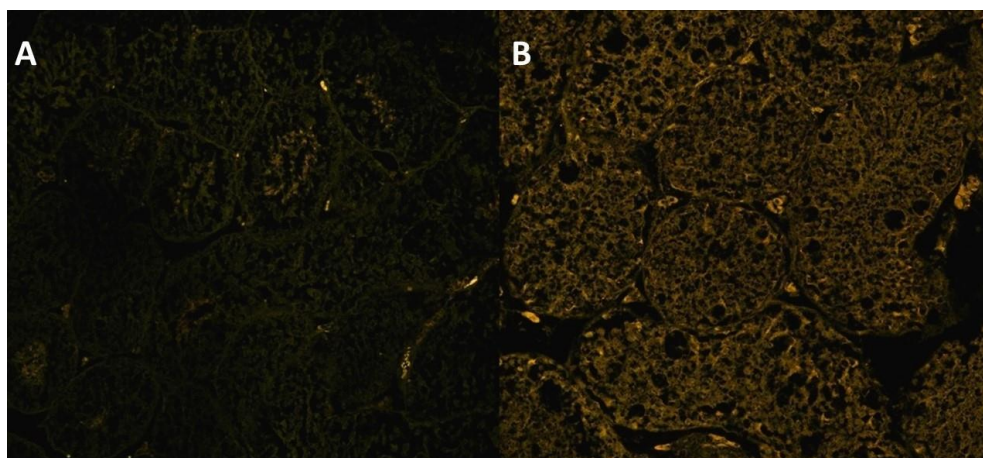


Figura 1. Microfotografías de microscopía de fluorescencia de testículo de *Desmodus rotundus*. A) Animales sin tratamiento. B) Animales con tratamiento cutáneo con coumestrol.

Discusión

En el caso particular del *Desmodus rotundus* representa un riesgo de salud pública por su cercanía con la población humana, ya que utilizan como refugios edificaciones construidas y por lo general abandonadas, por el humano en la mayoría de las veces, lo que favorece su distribución geográfica en diferentes regiones de América Latina y México (13).

Dentro de las actividades de control y vigilancia se realiza tratamiento letal con anticoagulantes en más del 92% de los *Desmodus rotundus* capturados, si bien es una estrategia efectiva por ser 100% letal, es necesario para que esta sea exitosa se conozca el tamaño de la población, si esta es grande, lo que sucede con estos vampiros, es posible que no sea posible aplicar medidas de control a suficientes individuos para limitar la transmisión de enfermedades. Otro aspecto a considerar con el uso de anticoagulantes, es la exposición secundaria generalizada de animales depredadores y carroñeros, si bien esta puede ser subletal, tiene la capacidad de inducir cambios en la expresión de genes implicados en la integridad epitelial y en la función del sistema inmunitario lo que promueve la disfunción inmune, deteriora la condición corporal y la aptitud

individual, lo que afecta su persistencia en la población por una mayor susceptibilidad a parásitos, agentes infecciosos y otros factores estresantes (14).

En los datos obtenidos de las autoridades de Salud Animal, alrededor del 1.5% de los animales monitorizados por laboratorio resultaron ser positivos a rabia (Tabla 1), lo que brinda la oportunidad de desarrollar estrategias complementarias de control de esta especie, dirigidas a los individuos en función de sus características demográficas, como la edad, el sexo y su estado como transmisor de enfermedades (9).

Una estrategia complementaria es el control reproductivo, si bien la tasa de nacimientos es relativamente baja en estos animales, debido a que tienen una cría por parto y su intervalo entre partos es de 10 meses (15). La estrategia de reducción de la fertilidad a menudo puede ser un enfoque plausible para el control de las poblaciones, debido a cuestiones éticas, así como de bienestar animal y un menor efecto nocivo en los sistemas ecológicos (16). La estacionalidad de la actividad reproductiva determina el plazo para la intervención anticonceptiva, en el caso del *Desmodus rotundus* se observa una mayor cantidad de crías entre los meses

de abril a mayo y entre octubre y noviembre, sin embargo, estas se observan a lo largo del año (17).

En este trabajo se encontró que la administración cutánea de coumestrol tiene la capacidad de ser absorbido y detectado por fluorescencia en el tejido testicular, esto probablemente debido al comportamiento de acicalamiento que de manera natural lleva a cabo esta especie, mismo fundamento que proporciona el éxito al tratamiento letal con pastas anticoagulantes (18).

Estos compuestos polifenólicos de origen vegetal, que actúan como disruptores endocrinos modificando la histoarquitectura del tejido testicular en los murciélagos vampiro, caracterizada por la disminución del grosor del epitelio germinal, el diámetro de los túbulos seminíferos, disminución de las espermatogonias, células de Sertoli, espermátidas elongadas y células de Leydig, efectos que sugieren la posible reducción de su fertilidad (12).

Conclusiones

Se concluye que derivado de las actividades humanas se dejan abandonadas edificaciones las cuales pueden ser utilizadas como refugios de los *Desmodus rotundus*, lo que favorece su cercanía con poblaciones humanas. De manera adicional se realizan

operativos de captura y tratamiento letal a la mayoría de los animales, de los cuales cuando son enviados a laboratorio para vigilancia epidemiológica de rabia un pequeño porcentaje resultan positivos a esta infección. Se propone desarrollar tratamientos complementarios y selectivos para el control reproductivo a base de fitoestrógenos, los cuales actúan como disruptores endocrinos. Se necesita más investigación para poder determinar su utilidad, dosis, vía de administración idónea, intervalo de dosificación y el periodo de tiempo para implementarlo.

Agradecimiento

Biólogo Ignacio Amezcua, del Comité Estatal para la Promoción y Protección de la Ganadería de San Luis Potosí (CEFPPSLP) por su apoyo en el trabajo de campo.

Referencias

1. Rocha F, Días RA. (2020). The common vampire bat *Desmodus rotundus* (Chiroptera: Phyllostomidae) and the transmission of the rabies virus to livestock: A contact network approach and recommendations for surveillance and control. *Preventive Veterinary Medicine*. 174: 104809.

- <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104809>
2. Condori- Condori RE, Streicker DG, Cabezas-Sanches C, Velasco- Villa A. (2013). Enzootic. and epizootic rabies associated with vampire bats, Peru. *Emerging infectious diseases*. 19(9):1463-1469. <https://doi.org/10.3201/eid1809.130083>.
 3. Eskew EA, Olival KJ. (2019). De-urbanization and Zoonotic Disease Risk. *Ecohealth*. 15(4): 707–712. <https://doi.org/10.1007/s10393-018-1359-9>
 4. Torres-Mejía X, Pérez-Rivero JJ, Olvera-Vargas LA, Barragán-Hernández EA, Martínez-Maya JJ, Aguilar-Setién A. (2021). La coexistencia de *Desmodus rotundus* con la población humana en San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.12(3):694-709. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5670>
 5. SENASICA.2021. Informe Semanal sobre Enfermedades y Plagas de Reporte Obligatorio Inmediato. Semana 51. <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/campana-nacional-para-la-prevencion-y-control-de-la-rabia-en-bovinos-y-especies-ganaderas> (Consultado 15 enero 2022).
 6. Bárcenas-Reyes I, Nieves-Martínez DP, Cuador-Gil JQ, Loza-Rubio E, González-Ruíz S, Cantó-Alarcón GJ, Milian-Suazo F. (2019). Spatiotemporal analysis of rabies in cattle in central Mexico. *Geospatial Health*.14 (2). <https://doi.org/10.4081/gh.2019.805> .
 7. Zarza H, Martínez-Meyer E, Suzán G, Ceballos G. (2017). Geographic distribution of *Desmodus rotundus* in Mexico under current and future climate change scenarios: implications for bovine paralytic rabies infection. *Veterinaria Mexico OA*.4(3). <https://doi.org/10.21753/vmoa.4.3.390>
 8. Prentice JC, Fox NJ, Hutchings MR, White PCL, Davidson RS, Marion G. (2019). When to kill a cull: factors affecting the success of culling wildlife for disease control. *Journal of the Royal Society Interface*.16(152):20180901. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0901>
 9. Miguel E, Grosbois V, Caron A, Pople D, Roche B, Donnelly CA. (2020). A systemic approach to assess the potential and risks of wildlife

- culling for infectious disease control. *Communications biology*.3(1):353. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-1032-z>.
10. Stoner-Duncan B, Streicker DG, Tedeschi CH. (2014). Vampire Bats and Rabies: Toward an Ecological Solution to a Public Health Problem. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 8(6): e2867. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002867>
11. Wang D, Xie J, Zhu X, Li J, Zhao D, Zhao M. (2014). A recombinant estrogen receptor fragment-based homogenous fluorescent assay for rapid detection of estrogens. *Biosensors and Bioelectronics*. 55:391-395. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.12.050>
12. Pérez-Rivero JJ, Pérez-Martínez M, Aguilar-Setién A. (2014). Histometric analysis of vampire bat (*Desmodus rotundus*) testicles treated with coumestrol by oral route. *Journal of Applied Animal Research*. 42(2), 208-212. <https://doi.org/10.1080/09712119.2013.827578>
13. Joffrin L, Dietrich M, Mavingui P, Lebarbenchon C. (2018). Bat pathogens hit the road: But which one?. *PLoS Pathogens*.14(8):e1007134. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007134>.
14. Elmeros M, Bossi R, Christensen TK, Kjærm LJ, Lassen P, Topping CJ. (2019). Exposure of non-target small mammals to anticoagulant rodenticide during chemical rodent control operations. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(6):6133-6140. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04064-3>.
15. Delpietro HA, Russo RG, Carter GG, Lord RD, Delpietro GL. (2017). Reproductive seasonality, sex ratio and philopatry in Argentina's common vampire Bats. *Royal Society open science*. 4:160959. <https://doi.org/10.1098/rsos.160959>
16. Jewgenow K, Dehnhard M, Hildebrandt TB, Goritz F. (2006). Contraception for population control in exotic carnivores. *Theriogenology*. 66:1525–1529. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.01.027>
17. Hermanson, J. W., Carter, G. G. (2020). Vampire Bats en: Fleming T, Dávalos L, y Mello AR. *Phyllostomid Bats*. University of Chicago Press, pp 257-272.

<https://doi.org/10.7208/9780226696263-015>
18. Flores Crespo R, Linhart SB, Burns RJ. (1972). Comportamiento

del Vampiro (*Desmodus rotundus*) en cautiverio. *The Southwestern Naturalist*.17(2):139-143.
<https://doi.org/10.2307/3670367>

Empleo de modelos animales en patologías del aparato digestivo

**Irma Eugenia Candanosa
Aranda**

Correo electrónico:
ieca@unam.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
30 de agosto de 2022**

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es proporcionar algunos ejemplos de modelos animales empleados en diferentes patologías del aparato digestivo, haciendo una clasificación de la categoría de invasividad en los animales de experimentación y el aporte de conocimientos en medicina humana y veterinaria. Se presentan seis modelos animales empleados en algunas patologías como: acidosis ruminal, efectos secundarios producidos por el empleo de la enteroscopia de doble balón, y efectos de la hipertensión intraabdominal y síndrome compartimental. Se concluye, que los estudios que emplearon modelos animales y que fueron clasificados con la categoría C (experimentos que causan un dolor o estrés menor de corta duración), fueron mejor diseñados y aportaron diferentes niveles de conocimientos en medicina humana y veterinaria.

Palabras clave: modelos animales, patología, aparato digestivo, ética, bienestar.

Introducción

En Medicina Veterinaria, el uso de animales en la investigación, enseñanza y pruebas es una práctica común, sobre todo en algunos temas fundamentales que involucran al aparato digestivo como la nutrición y la patología. Lo anterior, es solamente aceptable, si existe la promesa para contribuir en el entendimiento de principios biológicos fundamentales o el desarrollo de conocimiento que pueda ser razonablemente previsto para beneficio de la humanidad o de los animales (3), y asumiendo la responsabilidad ética y de procurar el bienestar animal (4).

El empleo de animales de laboratorio en México se rige por diversas leyes, reglamentos y normas federales y locales como la Ley Federal de Salud Animal (2018) (5), iniciativa de Ley General de Bienestar Animal (2021) (6), NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (7), entre otras, así como por los comités institucionales de cuidado y uso de animales. En conjunto, se emplean para establecer un sistema de autorregulación y supervisión regulatoria que vincula a los investigadores y las instituciones que utilizan animales, basándose en principios prácticos, éticos y científicos.

Todos los involucrados y las instituciones, debemos reflexionar detenida y deliberadamente sobre la decisión de utilizar animales, teniendo en cuenta la contribución que dicho uso hará a los nuevos conocimientos, las preocupaciones éticas y la disponibilidad de alternativas de los animales (8,9). Afortunadamente, el 7 de febrero de 2001 se aprobó la conformación del primer Comité Interno para el Cuidado y Uso de los Animales para Experimentación (CICUAE) en la FMVZ-UNAM (10). Siendo el propósito de promover y verificar el cuidado, el buen nivel de bienestar y el uso racional y justificado de los animales destinados a la investigación, enseñanza y constatación de biológicos que se encuentren relacionados.

El objetivo del presente trabajo es proporcionar algunos ejemplos de modelos animales empleados en patologías del aparato digestivo, haciendo una clasificación de la categoría de invasividad en los animales de experimentación y el aporte de conocimientos para la humanidad y los animales.

Desarrollo

Se realizó una selección de artículos, donde se emplearon modelos animales en la investigación de patologías del aparato digestivo que afectan a algunos animales domésticos y al humano. La invasividad de los animales empleados fueron clasificados de acuerdo con lo descrito por el Canadian Council on Animal Care (1991) (13).

Resultados

Acidosis ruminal en modelo de borregos

Los desbalances del equilibrio ácido-base en los rumiantes que consumen dietas altas en energía se deben, principalmente, a la excesiva producción de ácidos o la insuficiente remoción de éstos. Las modificaciones del pH ruminal, bajo ciertas condiciones de acidez o alcalinidad, se reflejan en otros líquidos corporales como la sangre, en donde también puede haber variaciones en la concentración de ácidos, bicarbonato y CO₂, entre otras. Desde hace varias décadas, se han estudiado el efecto de modificadores de la fermentación ruminal sobre el equilibrio ácido-base y electrolítico en diferentes rumiantes domésticos con acidosis ruminal (11).

Los siguientes modelos animales son clasificados en la categoría D:

experimentos que causan de moderado a grave estrés, incomodidad o angustia (12,13).

Se realizaron dos experimentos manteniendo a los animales en jaulas metabólicas para la administración controlada de alimento, obtención de muestras de sangre, orina y líquido ruminal a través de una fistula ruminal realizada previamente.

Efecto de bicarbonato de sodio y glucosa sobre la fermentación ruminal, equilibrio ácido-base y química sanguínea en borregos (11).

Se evaluó el efecto de NaHCO₃ y glucosa en borregos con una dieta de 60% de concentrado sobre la fermentación ruminal, equilibrio ácido-base y actividad bioquímica sérica. Se emplearon cuatro borregos (65 ± 10 kg PV) con cánula ruminal distribuidos en un modelo reversible simple; con periodos de adaptación de 14 días y dos para la colección de muestras. Se administró glucosa (1 g el primer día y 2 g glucosa/kg/PV durante el segundo día de muestreo) por vía intraruminal a todos los animales. El tratamiento fue 20 g de NaHCO₃ en el alimento y un grupo testigo. La dieta integral consistió en 60% de concentrado y 40% forraje. Se midió el consumo de alimento diariamente y se colectó líquido ruminal a las 0, 2, 4 y 6 h

postalimentación para determinar el pH, ácidos grasos volátiles, L-lactato, osmolalidad y protozoarios. En sangre se determinó pH, HCO_3^- , pCO_2 , exceso de base, Na^+ , K^+ , Cl^-) otros metabolitos bioquímicos. Se observó una mayor proporción de acetato en el grupo con NaHCO_3 y 2 g de glucosa. Los borregos tratados con NaHCO_3 aumentaron el consumo de nutrientes (MS, proteína, FDN y almidón) ($P < 0.05$). No se determinaron alteraciones en el equilibrio ácido-base y electrolítico en los diferentes líquidos corporales ($P > 0.05$). El efecto principal del NaHCO_3 favoreció la producción de acetato sin afectar el equilibrio ácido-base y electrolítico, teniendo un efecto limitado sobre la fermentación ruminal y bioquímica sérica en los borregos.

Efectos de monensina, virginiamicina y bicarbonato de sodio sobre la fermentación ruminal y el estado ácido-base en ovejas (14).

Se utilizaron cuatro borregos con cánula ruminal (55 ± 10 kg de peso corporal inicial) en un diseño de cuadrado latino de 4×4 para evaluar los efectos de la monensina, virginiamicina y bicarbonato de sodio sobre la fermentación ruminal y el equilibrio ácido-base en ovejas alimentadas con una dieta de 60% concentrado (base MS). Los tratamientos incluyeron

control, monensina (25 mg/d), virginiamicina (15 mg/d) y bicarbonato de sodio (10 g/d) por vía intrarruminal. Cada período incluyó 14 días de adaptación y 4 días de recolección de muestras. Se recolectaron muestras de líquido ruminal a las 0, 2, 4, 6, 8 y 10 h después de la dosis del aditivo. Se recolectaron muestras de sangre a las 0 y 6 h para determinar pH, HCO_3^- , pCO_2 , exceso de base, electrolitos (Na^+ , K^+ , Cl^-) y otros metabolitos (glucosa, urea, L-lactato, NEFA). La ingesta se incrementó ($p < 0.05$) con virginiamicina en comparación con bicarbonato de sodio. La adición de bicarbonato de sodio redujo significativamente ($p < 0.05$) la ingesta de MS. Los borregos con monensina mostraron una mayor proporción de propionato en el momento de la alimentación, mientras que la virginiamicina redujo el porcentaje de acetato en el líquido ruminal colectado 10 h después de la alimentación. Los recuentos de protozoos no se vieron afectados por los aditivos. La monensina, la virginiamicina o el bicarbonato de sodio no afectaron el estado ácido base en las ovejas.

Efectos secundarios por el empleo de enteroscopia de doble balón (DBE)

La enteroscopia de doble balón (DBE), introducida por primera vez en 2001

por H. Yamamoto, ha permitido el estudio endoscópico de un segmento del tubo digestivo que hasta hace unos años era de difícil el acceso completo. La DBE ha demostrado ser una técnica segura, con solo un 1,2 % de porcentaje de complicaciones. Como cualquier otro procedimiento endoscópico, esta técnica se asocia a ciertas complicaciones, las cuales han sido descritas en diferentes estudios multicéntricos. Entre las complicaciones catalogadas como graves, podemos destacar el sangrado, la perforación intestinal asociada al tratamiento de los pólipos y aquellos pacientes que habían sido intervenidos previamente de cirugía abdominal. La tercera complicación importante tras la EDB es la pancreatitis aguda, en la actualidad su etiopatogenia aún está en discusión, y las tasas de pancreatitis tras la EDB son del 0,2 %-3,2 % (15).

Los siguientes modelos animales son clasificados en la categoría C: experimentos que causan un dolor o estrés menor de corta duración (12,13). Etiopatogenia isquémica como posible origen de pancreatitis post enteroscopia de doble balón. Modelo porcino (15).

El objetivo fue evaluar los efectos vascular-isquémicos pancreáticos relacionados con la enteroscopia de doble balón en el modelo porcino como

posible etiopatogenia de la pancreatitis post-enteroscópica. Por este motivo, se realizaron dos experimentos independientes en un modelo animal porcino. En el protocolo I (grupo I), 10 cerdos se sometieron a 90 min de enteroscopia oral con un seguimiento de 7 d. Los niveles de amilasa, lipasa y proteína C reactiva se midieron en To basal, T1 90 min, T2 4 h, T3 7 d. Además, una endoscopia digestiva alta en un grupo de control. A los 7 d, a los animales del grupo I, previa eutanasia, se les extrajo el páncreas para un estudio patológico e inmunohistoquímico para evaluar la expresión del factor de crecimiento epitelial vascular (VEGF). El protocolo II experimental tuvo como objetivo evaluar posibles cambios en la topografía vascular debido a la enteroscopia de doble balón (DBE). El grupo II (10 cerdos) se sometió a enteroscopia oral y angiografía selectiva de la arteria mesentérica craneal y del tronco celíaco. Ninguno de los animales del grupo I, ni del grupo control presentó pancreatitis, aunque los resultados bioquímicos para el grupo I mostró aumentos en los niveles de amilasa, lipasa y proteína C reactiva a las 24 h. El estudio microscópico para el grupo I mostró focos necróticos pancreáticos y expresión positiva de

VEGF, aunque estos cambios no se expresaron en el grupo de control. Estos focos se encontraron en el 50% de los animales del grupo I y en relación con el total del parénquima se cuantificaron al 6% del páncreas. Los resultados del grupo II mostraron que la enteroscopia provocó la movilización del eje vascular mesentérico, con signos de hipoperfusión tanto intestinal como pancreática. Las conclusiones de este estudio son que, tras la enteroscopia en el modelo porcino, se producen focos necróticos pancreáticos, además de fenómenos isquémicos que provocan la expresión de VEGF. Esto podría estar relacionado con episodios de hipoperfusión visceral provocados por alteraciones vasculares a nivel topográfico. Esto puede estar relacionado con la posible etiopatogenia isquémica descrita para la pancreatitis post-enteroscópica.

Efecto de la manipulación de la papila duodenal durante enteroscopia de doble balón. Modelo porcino (16).

La hipótesis es que el inflado de los balones durante la endoscopia de doble balón (EDB) sobre la papila duodenal, determina cambios en los marcadores bioquímicos de pancreatitis. Se utilizaron cuatro grupos de cerdos: Grupo papila (GP), se infló el balón en la zona de la papila; GP + enteroscopia

de doble balón (GP + EDB), el balón se mantuvo inflado en la zona de la papila durante 20 min antes de una EDB; Grupo EDB (GDBE), EDB se realizó después de asegurar el inflado del balón lejos de la papila pancreática; y grupo control (GC). Se evaluaron las concentraciones séricas de amilasa, lipasa y proteína C reactiva (PCR). Se procesaron páncreas para examen histopatológico. Los principales cambios ocurrieron 24 h después del procedimiento en comparación con los niveles basales. Los niveles de amilasa aumentaron significativamente en GP (59,2% más) y fueron moderadamente más altos en los grupos GP + EDB y GEDB (22,7% y 20%, respectivamente). La lipasa aumentó en GP y GP + EDB, mientras que apenas cambió en el estudio básico de GDBE y en GC. La PCR aumentó significativamente en GP, GP + DBE y GDBE, mientras que no se informaron cambios para GC. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos GP y GP + DBE para los hallazgos histopatológicos, excepto por la vacuolización y necrosis del parénquima pancreático que fue mayor en GP que en GP + DBE. La manipulación de la papila duodenal por el balón inflado durante la EDB causa daño estructural pancreático y aumento

de los marcadores bioquímicos asociados con la pancreatitis.

Efectos de la hipertensión intraabdominal y síndrome compartimental

En medicina humana, la hipertensión intraabdominal (HIA) tiene múltiples consecuencias relacionadas con la perfusión en todos los órganos principales. La disminución de la presión de perfusión abdominal (PPA) conduce a una reducción de la perfusión esplácnica e hipoxia que promueve un ambiente anaeróbico con un pH intramucoso gástrico bajo (pHi). El entorno intestinal hostil provoca el daño de las mucosas, la lesión de los enterocitos, la disfunción de la barrera intestinal y la liberación de mediadores inflamatorios y citocinas. Esto da como resultado el síndrome de distrés intestinal agudo (SDIA), que impulsa el desarrollo del síndrome del compartimento abdominal (SCA) y el síndrome de disfunción orgánica múltiple (MODS) (17).

Los siguientes modelos animales son clasificados en la categoría C: experimentos que causan un dolor o estrés menor de corta duración (12,13).

A. Cambios histopatológicos intestinales en un modelo porcino de hipertensión intraabdominal inducida por neumoperitoneo (18).

La baja perfusión esplácnica es un efecto inmediato de la hipertensión intraabdominal (HIA) inducida por neumoperitoneo. La estructura anatómica hace que la mucosa intestinal sea la zona más sensible a la hipoperfusión. La relación entre la lesión intestinal y los parámetros clínicos de la perfusión tisular [presión de perfusión abdominal (PPA), pH intramucoso gástrico (pHi) y ácido láctico (Lc)] no se ha estudiado previamente. Este estudio tuvo como objetivo monitorear la patogénesis intestinal mediante biopsias ileales secuenciales y medir los niveles de PPA, pHi y Lc a diferentes presiones intraabdominales inducidas por neumoperitoneo (20, 30 y 40 mmHg) para evaluar las posibles relaciones entre ellas. Se emplearon 50 cerdos que se dividieron en cuatro grupos; un grupo control (C) y tres grupos experimentales con diferentes niveles inducidos por neumoperitoneo [20 mmHg (G20), 30 mmHg (G30) y 40 mmHg (G40)], que se mantuvieron durante 3 y 5 h. Se midieron PPA, pHi y Lc y se tomaron biopsias ileales por vía laparoscópica cada 30 min. El daño de la mucosa se calificó utilizando el puntaje de Park estandarizado y los animales se clasificaron como lesionados (I +) o ilesos (I-). Se

observaron diferentes lesiones histopatológicas en los grupos G20, G30 y G40 pero no se observaron daños en el grupo C. Un 33,3% de los animales en G20 y G30 fueron I+ después de 3 h, mientras que el 93,3% resultaron lesionados en G40. Después de 5 h, ya no se observaron lesiones histopatológicas en algunos animales en G20 y solo el 10% eran I+. Por el contrario, en el G30 I + los cerdos aumentaron al 80% mientras que los del G40 se mantuvieron en el 93,3% I+. Los animales I+ tenían una PPA y un pHi significativamente más bajos que los I-. Lc fue el parámetro clínico que mostró las primeras diferencias, con cifras significativamente más altas en los animales I+. La evolución de las lesiones intestinales por HIA inducida por neumoperitoneo depende del grado de PIA. Estos daños pueden estar asociados con disminuciones en APP y pHi y aumentos en Lc.¹⁰

B. Evaluación del curso temporal de los trastornos estructurales intestinales en un modelo porcino de hipertensión intraabdominal por obstrucción intestinal mecánica (18).

Una obstrucción intestinal mecánica (OIM) puede generar hipertensión intraabdominal (HIA) que pone en peligro la vida. Los intestinos son muy sensibles a la HIA, ya que la baja

perfusión esplácnica provoca hipoxia intestinal, acidosis local y translocaciones bacterianas. Esto puede conducir a un síndrome de distrés intestinal agudo (SDIA). La identificación de lesiones intestinales durante HIA y su correlación con parámetros clínicos como la presión de perfusión abdominal (PPA), el pH intramucoso gástrico (pHi) y el ácido láctico (Lc) se desconoce. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la secuencia de hallazgos histopatológicos intestinales en un modelo OIM y analizar las posibles relaciones con los parámetros actualmente utilizados en la práctica clínica (APP, pHi y Lc). Veinte cerdos se dividieron en tres grupos: un grupo de control (n = 5) y dos grupos experimentales con 20 mmHg (G1, n = 10) y 30 mmHg (G2, n = 5) de IAH por MIO. Las presiones se mantuvieron durante 3 h, excepto en 5 animales en G1 donde se mantuvo durante 5 h. Se registraron PPA, pHi y LA y se tomaron biopsias del íleon terminal cada 30 min en todos los grupos. El daño intestinal se clasificó según el Park Score. Se encontraron lesiones intestinales en el 42,9% de los cerdos en los grupos experimentales. Las lesiones fueron independientes del nivel y la duración de la HIA. Aunque la PPA y el pHi fueron ligeramente inferiores en los

animales lesionados (I+) de G1 y G2, no hubo diferencias significativas entre los que no sufrieron lesiones (I-). Lc aumentó significativamente en todos los cerdos I+ desde el inicio de HIA. La IAH por OIM provoca lesiones intestinales desde los primeros 30 minutos con disminuciones concurrentes de PPA y pHi y aumentos de Lc. Lc podría ser el mejor parámetro clínico relacionado con los daños intestinales con una clara diferencia entre los animales I + e I-.

Conclusión

La experimentación animal es una actividad básica de la ciencia médica. Algunos movimientos actuales, muestran repulsión a la violencia teniendo preferencia de especie (perros y gatos), mientras que otros animales no despiertan la misma compasión. Antes de iniciar un experimento, se requiere de un pensamiento crítico, juicio y análisis. Nos debemos cuestionar, si los resultados de la investigación animal pueden ser total o parcialmente aplicables en humanos y animales, y que sea éticamente correcto. De estos fundamentos se derivan una serie de normas éticas sobre el trato correcto de los animales de experimentación y de los comités. Una estrategia práctica para la toma de

decisiones es el enfoque de las "Tres R", Reemplazo (cultivos celulares, programas de cómputo, escala filogenética), Reducción (número de animales, experimentos innecesarios) y Refinamiento (mejorar el bienestar animal y minimizar o eliminar el dolor y la angustia), con sus debidas salvedades.

En esta revisión se considera que la clasificación de la categoría de invasividad en los animales de experimentación y el aporte de conocimientos, tienen una relación positiva, a mayor refinamiento del diseño experimental, es mayor el conocimiento de utilidad para la medicina humana y veterinaria, por lo tanto, causaron un dolor o estrés menor de corta duración en los animales. Los problemas que, debemos afrontar es la supervisión de la experimentación, no solo se trata de aprobar un protocolo, se trata de que la investigación se realice de manera correcta.

Referencias

1. McCarthy CR. (1999). Bioethics of laboratory animal research. *ILAR J* 40:1-37.
2. Perry P. (2007). The ethics of animal research: A UK perspective. *ILAR J* 48:42-46.

3. Canadian Council on Animal Care. (1989). Ethics of animal investigation. <https://ccac.ca/en/standards/fundamental-principles.html>
4. National Research Council. (2011). Guide for the Care and Use of Laboratory Animals: Eighth Edition <http://www.nap.edu/catalog/12910.html>
5. Gobierno de México. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley federal de Salud Animal. Última Reforma DOF 16-02-2018
6. Gobierno de México. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales Iniciativa de Ley General de Salud Animal. 2021. http://www3.diputados.gob.mx/camara/001_diputados/008_comisioneslx/001_ordinarias/025_medio_ambiente/020_iniciativa_bienestar_animal
7. NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio
8. Pardo Caballos A. (2005) Ética de la experimentación animal. Directrices legales y éticas contemporáneas. Cuadernos de Bioética, 16: 393-417
9. Aranda García A, Pastor García LM. (2018). Ética de la experimentación con animales. Revista de Bioética y Ciencias de la Salud, 3: 1-11
10. FMVZ-UNAM. CICUA. (2014). Reglamento del comité interno para el cuidado y uso de los animales <https://fmvz.unam.mx/fmvz/principal/cicua.html>
11. Candanosa E, Mendoza GD, Salcedo ER. (2005). Efecto de la administración de bicarbonato de sodio y glucosa sobre la fermentación ruminal, equilibrio ácido-base y química sanguínea en borregos alimentados con 60% de concentrado. Revista Científica FCV-LUZ, 15:41-48 ISSN: 0798-2259
12. Canadian Council on Animal Care. Social and Behavioral Requirements of Experimental Animals (SABREA) (1990). <https://ccac.ca/en/standards/fundamental-principles.html>
13. Canadian Council on Animal Care. (1991) Categories of invasiveness in animal experiments. <https://ccac.ca/en/standards/fundamental-principles.html>
14. Candanosa E, Villa-Godoy A, Castillo DA, Mendoza GD. (2008). Effects of monensin, virginiamycin and sodium bicarbonate on ruminal fermentation and acid-base status in sheep. Journal Animal and Veterinary Advances. 7 (2): 184-189.
15. Soria F, Pérez-Cuadrado E, López-Albors O, Morcillo E, Sarriá R, Candanosa E, Esteban P, Carballo LF,

Navarro M, Nacher V, Sánchez FM, Latorre R. (2015). Ischemic etiopathogenesis as the possible origin of post-double balloon enteroscopy pancreatitis. A porcine model study. *Revista Esp Enfermedades Digestivas*. 107 (1): 17-22

16. Latorre R, López-Albors O, Soria F, Candanosa E, Pérez-Cuadrado E. (2016). Effect of the manipulation of the duodenal papilla during double balloon enteroscopy. *World Journal Gastroenterology* 7; 22 (17): 4330-4337

17. Párraga Ros E, Correa-Martin L, Sanchez-Margallo FM, Candanosa-Aranda IE, Malbrain MLNG, Wise R, Latorre R, López Albors O, Castellanos G. (2018). Intestinal histopathological changes in a porcine model of pneumoperitoneum induced intra-abdominal hypertension. *Surgical Endoscopy*

<https://doi.org/10.1007/s00464-018-6142-z>

18. Párraga-Ros E, Correa-Martín L, Sánchez-Margallo FM, Candanosa-Aranda IE, Malbrain MLNG, Wise R, Latorre R, López Albors O, Castellanos G. (2018). Time-course evaluation of intestinal structural disorders in a porcine model of intraabdominal hypertension by mechanical intestinal obstruction. *PLOS ONE*

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191420>

Microvesículas (MVs) bacterianas, potentes biológicos acelulares de uso y aplicación en la Medicina Veterinaria

Cynthia González Ruíz*
Christian Álvarez Gómez
Elia Riquelme Zubiría
Mireya de la Garza Amaya
Viridiana Gutiérrez Espinosa
Jonathan Barrera García
Jorge Alfredo Cuéllar Ordaz
Francisco José Trigo Tavera

Correo electrónico:
cgrmvz@hotmail.com

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
27 de septiembre de 2022**

Palabras clave: Microvesículas bacterianas, biológicos acelulares, *Mannheimia haemolytica*, bacterias ácido lácticas.

RESUMEN

Actualmente se reconoce que todas las bacterias producen microvesículas de membrana externa (MVs) como un sistema de secreción alterno. El principal papel de las MVs, es generar nichos que permitan a las células bacterianas completas de origen, colonizar sus órganos blanco, acarrear y transmiten factores de virulencia a los tejidos del huésped, así como modulando las respuestas de defensa del hospedador. Durante su formación, las MVs arrastran una gran cantidad de antígenos en tránsito del periplasma o bien anclados a la membrana externa, estos componentes en su mayoría son importantes factores de virulencia y resistencia de bacterias invasoras. Actualmente nuestro grupo de investigación, se han concentrado en evaluar la capacidad inmunoestimulante que tienen las MVs de *Mannheimia haemolytica* A2 y de Bacterias Ácido lácticas aisladas del Tracto gastrointestinal de *Rattus norvegicus* de vida libre. Lo anterior, con la finalidad de generar biológicos acelulares de uso y aplicación en la práctica médica veterinaria.

Introducción

Por años los Médicos Veterinarios, hemos buscado las mejores estrategias para controlar las enfermedades que afectan a las especies animales, ya que éstas representan importantes pérdidas económicas a diferentes niveles para los productores en nuestro país y a nivel mundial. Lo anterior debido a la morbilidad y mortalidad que generan, animales que prevalece con cursos crónicos y por lo tanto con mala conversión alimenticia, retraso en el crecimiento y finalmente por los elevados costos de los tratamientos, que estos representan.

En ese sentido, la ciencia médica ha invertido en importes investigaciones sobre los mecanismos de invasión y colonización de diversos agentes etiológicos, principalmente los de carácter biológico (virus, bacterias, parásitos, hongos., etc.), los cuales afectan a las diferentes especies animales incluyendo al humano. Dichos estudios se han enfocado en determinar los diversos mecanismos de patogenicidad bacteriana, como estrategia biológica de los agentes infecciosos, que conducen al desarrollo de cuadros patológicos, que en muchos casos ocasionan la muerte de sus

hospedadores. Conocer los mecanismos de patogenicidad, así como los factores de virulencias que sintetizan los agentes etiológicos, nos ha permitido desarrollar diversas estrategias para bloquear e inactivar la invasión y colonización de los mismos. Lo anterior se ha logrado, a través de la elaboración y desarrollo de vacunas, bacterinas, toxoides, etc., que aseguren una respuesta inmune adquirida, sólida y contundente. Sin embargo, seguimos en la búsqueda del biológico ideal que sea eficiente en su función al bloquear al agente etiológico en cuestión y que por su composición tenga la capacidad de despertar una adecuada respuesta inmune eficiente, sólida, sostenida y de memoria, asegurando la protección de los animales, contra el desarrollo de procesos morbosos.

En ese sentido, se ha trabajado a lo largo de 17 años en el estudio de las microvesículas bacterianas, las cuales, por su composición y formación, se consideran poderosas estructuras antigénicas capaces de estimular y potencializar la respuesta inmune adquirida (1). Lo anterior, debido a que acarrean importantes antígenos que arrastran constitutivamente, a partir de

la membrana de la célula bacteriana de origen o bien que se encuentran en tránsito entre el citoplasma y el periplasma. Dichas estructuras, carecen de capacidad de división y eso asegura el acarreo y exposición de potentes antígenos, que pueden iniciar una adecuada respuesta inmune (1).

a) Microvesículas bacterianas.

Las bacterias en general secretan un gran número de proteínas al medio extracelular, entre las que se incluyen toxinas, adhesinas y diversas enzimas hidrolíticas que se requieren en diferentes aspectos de su ciclo de vida celular, como por ejemplo en la biogénesis de estructuras bacterianas, en la adquisición de nutrientes y en la expresión y liberación de factores de virulencia. La secreción de proteínas en las bacterias, es un área de investigación que ha sido extensamente estudiada en las últimas dos décadas (1,2,3).

Existen siete sistemas de secreción (Tipo I, II, III, IV, V, VI, VII) descritos que se pueden encontrar en bacterias Gram-positivas y bacterias Gram-negativas. La diferencia que puede ser más notable entre estos complejos multiproteicos es que las bacterias Gram-positivas

necesitan realizar un simple proceso de secreción a través de una sola membrana mientras que las bacterias Gram-negativas transportan la molécula biológica a través de la doble membrana que las rodea hacia el medio extracelular, mediante un mecanismo más complejo. Sin embargo, los genes que codifican para proteínas que participan en el proceso de secreción de bacterias Gram-positivas muestran un alto grado de similitud con los genes identificados originalmente en *Escherichia coli*. Debido a esto, el criterio que se utiliza para diferenciar los sistemas de secreción radica en el tipo de transporte realizado por la bacteria, independientemente de una bacteria Gram-positiva o Gram-negativa (4,5). Actualmente podría considerarse que el mecanismo de secreción de proteínas de Tipo VIII, es a través de Microvesículas (MVs). Las MVs, le permiten a la bacteria secretar proteínas de alto peso molecular, grupos de proteínas y lípidos hacia el medio extracelular (6).

b) Génesis de las Microvesículas (MVs).

Una de las principales hipótesis que explica la formación y producción de MVs, es la presencia de un estímulo estresante que induce un aumento en la

síntesis de fosfolípidos en la cara interna de la membrana externa, generando un acumulo de estos obligando a la membrana a plegarse favoreciendo así la formación de vesículas, mismas que posteriormente se desprenden y se liberan al medio circundante (7). Por tal mecanismo, las MVs conservan normalmente el complemento estructural total de los constituyentes de la membrana externa que les dio origen, incluyendo proteínas, LPS, ácido murámico, cápsula y fimbrias. Muchos de estos componentes juegan un papel crucial en la patogenicidad de las bacterias (8).

La pared celular de las bacterias tanto Gram negativas como positivas, tiene una característica en común y es que liberan MVs constantemente en la superficie de la célula de origen, en cual quiera de sus fases de crecimiento. Durante el proceso de formación y liberación, las MVs engloban contenido del periplasma subyacente, de modo que pueden acarrear proteínas en tránsito entre el citoplasma y la membrana externa. Las MVs contienen antígenos que regularmente la bacteria completa produce bajo ciertas condiciones, pero en una escala mucho más pequeña. Estas

estructuras son esféricas y pueden llegar a medir entre 50 nm y hasta 250 nm de diámetro (9-10).

Estudios en las MVs bacterinas, han revelado que éstas contienen importantes factores de virulencia y resistencia de las bacterias invasoras en las fases iniciales de la infección, concentrándose sobre el tejido del hospedador. El hecho de que las MVs transporten ciertas enzimas degradativas para la pared celular del huésped, permite que la bacteria desarrolle su propio microambiente para así colonizar e invadir (7,10). Las vesículas contienen adhesinas, toxinas y componentes inmunomoduladores que actúan directamente mediando la adhesión de la bacteria completa de origen, causando citotoxicidad y modulando la respuesta inmune del hospedador. Por la participación que tienen las vesículas en tan diversos aspectos entre la interacción hospedador-patógeno, éstas son consideradas potentes factores de virulencia bacteriana. Las MVs son el medio por el cual la bacteria interactúa con células eucariotas y con su medio ambiente (9, 10).

Actualmente una gran cantidad de MVs de diferentes géneros bacterianos, son

ampliamente utilizadas como biológicos vacunales acelulares, debido a que dichas estructuras conservan la identidad de la superficie de la bacteria donadora, acarreando gran cantidad de importantes antígenos de virulencia presentes en su superficie. Las MVs son potentes estructuras antigénicas que poseen cualidades para inducir la activación de la respuesta inmune del hospedero (6).

c) MVs de *Mannheimia haemolytica* A2. En ese sentido una de las líneas de investigación, más consolidada por nuestro grupo de trabajo, es el uso de MVs de *Mannheimia haemolytica* serotipo A2. La cual, es considerada la principal etiología bacteriana desencadenante de neumonías en los rumiantes, siendo ésta una de las principales causas de muerte en los ovinos a nivel mundial (11). Los diferentes serotipos y biotipos de *Mannheimia haemolytica*, expresan potentes antígenos de superficie que incluyen al lipopolisacárido (LPS), proteínas de membrana externa (PME), proteínas reguladas por hierro (PMH), fimbrias y polisacáridos capsulares. Esta bacteria secreta una citolisina específica para leucocitos denominada leucotoxina

(LKT), que mata específicamente macrófagos alveolares a nivel pulmonar. Cada uno de estos antígenos contribuye a la enfermedad clínica, en combinación con las secreciones y componentes celulares que favorecen la presentación característica de la enfermedad (12, 13). En un trabajo previo de nuestro grupo de investigación, se identificaron y caracterizaron MVs de *M. haemolytica* serotipo A1 (National Animal Disease Center, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Ames, Iowa 50010) y serotipo A2 (cepa virulenta aislada en campo), las cuales fueron obtenidas durante su fase *Log* de crecimiento en condiciones *in vitro*. Estos hallazgos fueron el primer reporte de dichas estructuras (MVs) en este género bacteriano. La caracterización de las MVs de *M. haemolytica*, permitió identificar los principales antígenos de la bacteria, considerados así por el papel que juegan en la patogénesis de la enfermedad, tal es el caso de la leucotoxina (LKT), lipopolisacárido (LPS), múltiples proteínas de membrana externa (PME) de interés inmunológico (60, 45 y 54 kDa), determinados en un trabajo previo y un fragmento de DNA. La caracterización de estos antígenos

consistió en su identificación a partir de MVs liberadas por *Mannhemia hemolítica* serotipo A1 y A2, mediante métodos moleculares y de inmunodetección (14). A partir de dicho trabajo, se desprendió la evaluación de las MVs de este género bacteriano, como biológico vacunal (Patente con número de registro: 341611) (15). Hasta el momento, los trabajos realizados con MVs de *M. haemolytica* A2, se han concentrado en evaluar la capacidad inmunológica que tienen dichas estructuras en condiciones *in vitro* e *in vivo*, al ser utilizadas como biológicos acelulares de aplicación en ovinos. Los resultados obtenidos han demostrado que las MVs de *M. haemolytica* A2, inducen una respuesta elevada de IgG a nivel sistémico cuando se inmuniza a los animales por vía intramuscular y de IgA a nivel local cuando se administran por vía intranasal (16). Las MVs contienen componentes que son reconocidos por células eucariotas con base en los patrones de respuesta inmune innata y adquirida. Sin embargo, el impacto de las MVs en la modulación del sistema inmune podría variar durante el curso de la infección. Recientemente evaluamos la actividad inmunomoduladora de las MVs de *M.*

haemolytica A2, sobre células del sistema inmune innato del ovino, demostrando que dichas estructuras tienen efecto directo al estimular cultivos celulares de macrófagos de ovino, al enfrentarlos a diferentes concentraciones de MVs de la bacteria. Dichos resultados demostraron que las MVs son eficientes al estimular la síntesis de citocinas proinflamatorias tales como la IL-1 β y TNF-alfa, así como de aumentar los niveles de expresión del TLR4. Confirmando que el aumento en la transcripción de genes en dichas células, esta mediada específicamente por la vía de señalización LPS/MVs-TLR4 (17). Por otro lado, a partir de cultivos celulares de Células Dendríticas de ovino, se determinó un aumento del nivel de expresión del CMH-II y CD86 en presencia de diferentes concentraciones de MVs de *M. haemolytica* A2 (18).

El biológico vacunal enriquecido con MVs de *Mannhemia haemolytica* A2, (Patente con número de registro: 341611)(15), también fue evaluado en campo, vacunando un rebaño estabulado de 60 corderos de aproximadamente 3 meses de edad, dividiéndolo en tres grupos para su comparación y evaluación, contra una vacuna comercial. El Grupo vacunado con MVs de *M.*

haemolytica A2, administrado por vía intra-nasal, demostró altos títulos de anticuerpos IgA, IgG e IgM en relación con el grupo vacunado con el biológico comercial. El resultado al término del experimento fue que los animales vacunados con MVs de *M. haemolytica* A2, no desarrollaron enfermedad neumónica durante el periodo de prueba (19).

d) MVs de Bacterias ácido lácticas (BAL). Actualmente nuestro grupo de investigación está trabajando en una segunda línea caracterización y uso de MVs de Bacterias Ácido Lácticas (BAL), aisladas del Tracto Gastrointestinal (TGI) de *Rattus norvegicus* de vida libre. La importancia de emplear aislados de BAL obtenidos de roedores capturados de áreas periféricas a zonas conurbadas, es que esta especie animal vive expuesta y resistente a una gran cantidad de patógenos tanto para el humano, como para los animales de consumo, siendo las BAL responsables de dicha resistencia. Las BAL, son una clase funcional de bacterias Gram positivas, fermentadoras, no patógenas, no toxigénicas, que se caracterizan por producir ácido láctico a partir de carbohidratos (21).

Las BAL, están comúnmente asociadas con la actividad probiótica. Los probióticos se definen como microorganismos vivos que, al ser ingeridos en cantidades adecuadas, ejercen efectos beneficiosos en la salud, más allá de los inherentes a la nutrición básica. Los mecanismos de acción implicados en este efecto incluyen la inducción de un pH inferior a 4, inhibición del crecimiento de bacterias patógenas, producción de ácido láctico, disminución de la permeabilidad intestinal, aumento en la actividad de la lactasa, efecto competitivo con otras bacterias patógenas, reducción en el tiempo de eliminación de virus intestinales, incremento en la producción de los linfocitos T helper, y aumento de la inmunoglobulina A secretora. El uso de los probióticos se ha dirigido principalmente a la salud y alimentación humana, así como a la sanidad y producción animal. En ambas áreas, destacan los estudios enfocados a evaluar el efecto protector de estos microorganismos (18). En ese sentido, los *Lactobacillus sp.* son componentes normales de la microbiota intestinal del hombre y de los animales, los cuales han sido identificados como los responsables

del control de las diarreas neonatales, de la reducción del número de coliformes en el intestino de los terneros, así como del control de los efectos de patógenos como *Salmonella sp.* y *E. coli.* (22).

La microbiota del TGI, es sin duda importante en el desarrollo de un sistema inmunológico funcional y equilibrado. Estudios recientes, han indicado que las células implicadas en el sistema inmune del TGI, frecuentemente muestran de manera normal, una reacción a los componentes de la pared celular de las Gram-positivas, induciendo en ellas la transducción del factor nuclear κB y STAT, a través de receptores en los leucocitos de reconocimiento a patrones antigénicos, en donde las células del hospedador responden a tales estímulos mediante la liberación de citocinas pro-inflamatorias, tales como el factor de necrosis tumoral alfa ($TNF-\alpha$), interleucina (IL)-1, IL-12 y el interferón gama ($IFN-\gamma$) así como también de la producción de citocinas anti-inflamatorias reguladoras, tales como el factor de crecimiento transformante (FGT) $-\beta$ y la IL-10, dependiendo de las cepa bacterianas involucradas (23-25).

Por otro lado, también existe evidencia de que algunas cepas de *Lactobacillus sp.*,

pueden estimular directamente el sistema inmune en la superficie de la mucosa intestinal, a través de focos de células linfoides localizadas en el TGI; aumentando las poblaciones de linfocitos y de sus receptores de superficie celular, expresados en el medio ambiente del Tejido linfoide asociado al intestino (GALT), facilitando así, un aumento en la producción de inmunoglobulinas en el lumen intestinal (26,27).

El estudio de las MVs de BAL, es crucial para confirmar que dichas estructuras conservan los patrones de señalización involucrados en las respuestas inmunes generadas entre la microbiota intestinal y el tejido epitelial de la mucosa, así como del tejido linfoide asociado, identificados para las células completas de origen.

En un trabajo previo, este grupo de investigación comprobó la producción y caracterización de MVs de BAL, aisladas de TGI de *Rattus norvegicus* de vida libre, confirmando que dichas estructuras, acarrean antígenos que les confieren actividad probiótica y de inmunoestimulación, similar a la que producen las células bacterianas completas de origen, cuando éstas fueron evaluadas en condiciones *in vitro*. Lo anterior, nos dio la posibilidad de iniciar

los trámites de patente, de un probiótico enriquecido con MVs de BAL, aisladas a partir de tracto gastrointestinal de *Rattus norvegicus* de administración oral, que pueda emplearse en la prevención y control de enfermedades gastrointestinales, que afectan la producción animal (28).

Por tal motivo, actualmente estamos evaluando la respuesta inmune que inducen diferentes concentraciones de MVs de BAL, al estimular previamente leucocitos de rata, mantenidos en condiciones *in vitro*. Para posteriormente enfrentarlos, con tres diferentes agentes etiológicos de origen biológico: *Salmonella sp.*, Larva (L3) de *Haemochus contortus* y Coronavirus porcino. En todos los casos, determinaremos la síntesis de interleucinas proinflamatorias y de regulación, mediante qRT-PCR a partir de células en cultivo, así como de sobrenadantes de cultivo mediante ELISA directa.

Conclusión

Con los resultados de ambas líneas de investigación, se busca beneficiar a la industria pecuaria con alternativas terapéuticas eficaces y costeables a través

del uso de MVs bacterianas, que disminuyan las enfermedades que afectan a los animales en general (29), reduciendo el impacto económico que estos procesos provocan, así como controlando el uso indiscriminado de antimicrobianos, que han generado una exacerbada resistencia a los mismos y que actualmente es una problemática de alto impacto a nivel mundial (30).

Referencias

1. Mayrand, D. and Grenier, D. 1989. Biological activities of outer membrane vesicles. *Can. J. Microbiol.* 35:607-613.
2. Zhou, L., Srisatjaluk, R., Justus, D. E. and Doyle, R. J. On the origin of the membrane vesicles in Gram-negative bacteria. *FEMS Microbiol. Lett.* 163, 223-228
3. Koster, M., Bitter, W., Tommassen, J. Protein secretion mechanisms in Gram-negative bacteria. *Int. J. Med. Microbiol.* 2000. 290, 325-31
4. González Pedrajo, B. Sistemas de secreción de proteínas en las bacterias Gram negativas: Biogénesis flagelar y translocación de factores de virulencia. *Mensaje Bioquim.* XXVII, 2003.
5. Cabañas-Romero, P., & Huerta- Saquero, A.

Nanomáquinas biológicas: los sistemas de secreción bacterianos. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 2015, 7(13).
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2014.13.48705>

6. Kadurugamuwa, J. L., and T. J. Beveridge. Virulence factors are released from *Pseudomonas aeruginosa* in association with membrane vesicles during normal grow and exposure to gentamicin: A novel mechanism of enzyme secretions. *J. Bacteriol.*, 1995, 177:3998-4008.

7. Kulp, A., Kuehn, M. J. Biological functions and biogenesis of secreted bacterial outer membrane vesicles. *Annu. Rev. Microbiol.* 2010, 64, 163–84

8. Kuehn, M. J., Kesty, N. C. Bacterial outer membrane vesicles and the host-pathogen interaction. *Genes Dev.* 2005, 19, 2645–55

9. Kulkarni, H. M. ,Jagannadham, M. V. Biogenesis and multifaceted roles of outer membrane vesicles from Gram-negative bacteria. *Microbiology* 160, 2109–21 (2014).

10. Manning, A. J., Kuehn, M. J. Functional advantages conferred by

extracellular prokaryotic membrane vesicles. *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* 23, 131–41 (2013).

11. Kebkiba., B. Epidemiology of Pasteurellosis in Small Ruminants. *Acta Scientific Microbiology*, Vol. 4 Issue 12 (2021).

12. Jaramillo A., C. J., Trigo Tavera, F. J., Suárez Güemes, F. Mannheimiosis bovina: etiología, prevención y control. *Vet. México* 40, 293–314

13. Colín R. F., Jaramillo M. L., Aguilar R. F., Trigo F. J., M. M. M. Serotipos de *Pasteurella haemolytica* en pulmones neumónicos de ovinos de México. *Rev Lati–Am Microbiol* 29, (1987).

14. González R. C., Tenorio G. V., Trigo T. F., Reyes L.M., León S. N., Godínez V. D., de la G. A. M. Characterization of Microvesicles of *Mannheimia haemolytica* Serotype A1 (Reference Strain) and Serotype A2 (Field Isolate). *J. Anim. Vet. Adv.* 6, 1172–1178 (20)

15. González, R. C., 1 De la Garza, A. M. G., 2 Suárez, G. F., 3 Tenorio, G. V. R 4., Trigo, T. F.J. 3 1. 2011., Patente No. 341611. Biológico vacunal elaborado a partir de Microvesículas (MVs) de *Mannheimia haemolytica* serotipo A2, de administración intranasal en ovinos. Facultad de Estudios Superiores

Cuautitlán, UNAM., Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del IPN., Facultad de Medicina y Veterinaria y Zootecnia, UNAM., Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícola y Pecuarias., México.

16. González R. C., Tenorio G. V., De la Garza A. M. G., T. T. F. Evaluación y caracterización de microvesículas (MVs) de *Mannheimia haemolytica* serotipo A2 para su posible utilización como vacuna en ovinos. Tesis Doctoral. FES Cuautitlán. UNAM. (2007).

17. Ávalos Gómez Christian. Identificación del receptor tipo Trol-4 en macrófagos de orina y su activación, al interactuar con microvesículas (MVs) de *Mannheimia haemolytica* A2 en condiciones in vitro. Tesis de Maestría. FES Cuautitlán. UNAM. (2015).

18. Riquelme Zubiría Elia. Determinación del complejo principal de histocompatibilidad clase II en células dendríticas de ovino en presencia de vesículas de membrana externa de *Mannheimia haemolytica* A2. Tesis de Maestría. FES Cuautitlán. UNAM. (2014).

19. Nativitas Esquivel Ana Lisset. Evaluación de un inmunógeno elaborado a base microvesículas (MVs) de

Mannheimia haemolytica serotipo A2, de aplicación en ovinos del Estado de México. Tesis de Licenciatura. FES Cuautitlán. UNAM. (2017).

20. Shi C-w, Cheng M-y, Yang X, Lu Y-y, Yin H-d, Zeng Y, Wang R-y, Jiang Y-l, Yang W-t, Wang J-z, Zhao D-d, Huang H-b, Ye L-p, Cao X, Yang G-l and Wang C-f (2020). Probiotic *Lactobacillus rhamnosus* GG Promotes Mouse Gut Microbiota Diversity and T Cell Differentiation. *Front. Microbiol.* 11:607735.

doi: 10.3389/fmicb.2020.607735

21. FAO/OMS 2001. Probióticos en los alimentos, propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. Consulta de expertos FAO/OMS sobre evaluación de las propiedades saludables y nutricionales de los probióticos en los alimentos, incluida la leche en polvo con bacterias vivas del Ácido Láctico. Córdoba, Argentina.

22. Rosmini, M. R.; Sequeira G. J., Guerrero-Legarreta I., Martí L. E., Dalla-Santina R., Frizzo L. y Bonazza J.C., 2004. Probiotic production for meat animals: importance of using indigenous intestinal microbiota *Rev. Mexicana de Ingeniería Química* Vol. 3: 181-191

23. Ávila J., Ávila M., Tovar B., Brizuela M., Perazzo Y. y Hernández H., 2010. Probiotic properties of strains of *Lactobacillus* genus extracted from intestinal tract of farm animals. *Rev. Científica, FCV-LUZ*. Vol. XX, N° 2, 161 – 169.
24. Miettinen M., Alander M., Von Wright A., Vuopio-Varkila J., Marteau P., Huis in't Veld J., and Mattila-Sandholm T., 1998. The Survival of and cytokine induction by Lactic Acid Bacteria after passage through a gastrointestinal model. *Microbial Ecology in Health and Disease*; 10: 141–147.
25. Miettinen M., Vuopio-Varkila J. and Varkila K., 1996. Lactic Acid Bacteria induce production of human Tumor Necrosis Factor Alpha, Interleukin-6, and Interleukin-10. *Infection and Immunity*, Vol. 64, No. 12, pp. 5403–5405.
26. Cross L. M., 2002. MiniReview Microbes versus microbes: immune signals generated by probiotic *Lactobacilli* and their role in protection against microbial pathogens. *FEMS Immunology and Medical Microbiology* Vol. 34, pp 245- 253.
27. Settanni, L., D. van Sinderen, J. Rossi, and A. Corsetti. 2005. Rapid Differentiation and in situ detection of 16 sourdough *Lactobacillus* species by multiplex PCR. *Appl. Environ. Microbiol.* 71:6: 3049–3059.
28. Gutiérrez Espinosa Viridiana. Identificación de Bacteriocinas en Microvesículas (Mvs) producidas por Bacterias Ácido-Lácticas (BAL), aisladas del tracto gastro intestinal (TGI) de *Rattus norvegicus*. Tesis de Licenciatura. FES Cuautitlán. UNAM. (2020).
29. González-Vázquez MC, Guerra-Martínez ÁA, Escobedo-Herrera B, Carabarin Lima A. Microvesículas bacterianas secretadas y su potencial uso en el desarrollo de vacunas. *Alianzas y Tendencias BUAP*. 2022; 7(28):47–74.
30. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Resistencia a Antimicrobianos (RAM), 2020. https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2020/octubre/22ACT1ASEAntimicrobianos07-07-20_3_391ae0ad-e50a-479e-b848-1fd1bc6be171.pdf

El impacto de los residuos y de la resistencia a los antimicrobianos en la sanidad animal. El control reglamentario en México

Dinorah Vargas Estrada

Correo electrónico:
dinorah.vestrada@fmvz.unam.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
27 de septiembre de 2022**

Palabras clave: Antimicrobianos, residuos de antimicrobianos, resistencia a los antimicrobianos, animales de abasto.

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra un panorama general acerca del impacto de los residuos de antimicrobianos en la sanidad animal, así como el control reglamentario que se lleva a cabo actualmente en México. Los residuos de antimicrobianos son depositados o almacenados en tejidos u órganos animales como consecuencia del empleo de los antimicrobianos. En los alimentos de origen animal, los residuos son considerados un factor de riesgo en la salud pública, por su toxicidad y el desarrollo de resistencia a los antimicrobianos (RAM), lo que da como resultado que los medicamentos se vuelvan ineficaces y las infecciones persistan en los organismos de quienes las padecen (humanos o animales), lo que incrementa el riesgo de su propagación. La RAM es una de las diez principales amenazas de salud a las que enfrenta la humanidad. La emergencia actual de la generación de los residuos en los productos de origen animal ha llevado a las diversas dependencias de los gobiernos a regular de forma más estricta el uso de antimicrobianos. México en 2018, como respuesta a las recomendaciones internacionales, hace oficial la obligatoriedad de la “Estrategia de combate a la resistencia a los antimicrobianos”.

Introducción

Los agentes antimicrobianos son medicamentos esenciales para la salud y el bienestar de los seres humanos y de los animales; de acuerdo con su espectro pueden ser (antibióticos, antivirales, antifúngicos y/o antiparasitarios), su función es matar o inhibir el crecimiento de los microorganismos (1). Por su parte, los residuos de antimicrobianos son las moléculas completas, metabolitos o productos de degradación que son depositados o almacenados en células, tejidos u órganos animales, como consecuencia de su empleo (2).

El uso de estos agentes en medicina humana y animal ha permitido el control y la curación de las infecciones por más de un siglo. En el área Veterinaria, se ha administrado como aditivo en el alimento de los animales de abasto, con el propósito de promover el crecimiento, sin embargo, este uso está prohibido desde el año 2012 en México (3). Los residuos son capaces de generar toxicidad y el desarrollo de resistencia a los antimicrobianos (RAM).

Aunque los microorganismos de manera natural son capaces de sufrir una selección natural, a través de modificaciones genéticas y por la

transmisión vertical de algunas características, para adquirir RAM, también el uso irresponsable de los antimicrobianos, han contribuido a la selección de cepas resistentes (4).

La resistencia se origina debido al aumento de la exposición de los antimicrobianos a los microorganismos en cantidades por debajo de las concentraciones mínimas inhibitorias (CMI), establecidas durante un periodo continuo, como ocurre en veterinaria al proveer a los animales con alimentos o premezclas medicadas (5). La resistencia reduce el control de las infecciones, y se considera como una de las diez principales amenazas de salud a las que enfrenta la humanidad. Se ha contabilizado la muerte de más de 700,000 personas por esta causa y se ha estimado que para el año 2050 superará los fallecimientos ocasionados por cáncer (6).

La legislación en sanidad animal en México regula y permite que los Médicos veterinarios lleven a cabo sus funciones esenciales, entre las que se incluyen, la vigilancia epidemiológica; prevención y control de emergencias sanitarias - incluida la RAM-; la seguridad sanitaria de los alimentos; la certificación de los

animales y subproductos para exportación; el bienestar de los animales; la prevención, diagnóstico o tratamiento de enfermedades en los animales (7).

Como se ha señalado en diversos trabajos, debido al incremento del comercio internacional, a los cambios climáticos y a la presencia de microorganismos resistentes, la emergencia de enfermedades puede propagarse rápidamente a nivel global, ante esta perspectiva, los servicios veterinarios deben estar apoyados por un control legislativo que permita acciones oportunas y eficaces (8). El objetivo del presente trabajo es mostrar un panorama general acerca del impacto de los residuos de antimicrobianos en la sanidad animal, así como el control reglamentario que se lleva a cabo en México.

Impacto de los residuos antimicrobianos

A nivel global, los residuos de los antimicrobianos en los alimentos de origen animal son considerados un factor de riesgo para la salud pública, pues son responsables de producir toxicidad, efectos mutagénicos, carcinogénicos,

reacciones alérgicas y el desarrollo de RAM (9, 10, 15).

Otro aspecto para considerar es el efecto negativo que tiene en la industria transformadora de los productos y subproductos de origen animal para consumo humano (queso, yogurt, etc.), ya que los residuos pueden ocasionar pérdidas económicas al inhibir el crecimiento de las bacterias ácido-lácticas, por ejemplo: *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, que son necesarias para la fermentación (12, 13).

A nivel ambiental, el impacto negativo es resultado de la contaminación de praderas, pastizales, ríos y mantos freáticos, ya que afecta la salud de los organismos (animales, vegetales, humanos) de esas áreas (9, 14).

La RAM, además, ocasiona la pérdida de la eficacia de los antimicrobianos, incrementa el gasto en tratamientos médicos, estancias hospitalarias largas, lo que perjudica la economía de las personas y de los sistemas de salud de los países (15,16).

Legislación, políticas públicas y pecuarias para el control de los

residuos y de la resistencia a los antimicrobianos en México

Exportaciones. Con respecto a las exportaciones, el sector agropecuario en México ocupa el 8 %, de los envíos del país, y es el décimo país exportador del mundo y el primero entre los países de América Latina y el Caribe. Los principales productos de exportación son: la carne y el ganado bovino en pie. Son EUA, Canadá, China, España y Brasil los principales socios comerciales en esta actividad (17); por lo que, para mantener estas actividades y en apego de la Ley del Comercio Exterior, debe acatar los tratados y acuerdos internacionales y comprometerse a controlar el impacto de los residuos de fármacos en una salud.

Medidas regulatorias en México acerca del uso de antimicrobianos

Prescripción y comercialización. La Norma Oficial Mexicana 064-ZOO-2000, establece los criterios para la clasificación, prescripción, comercialización y uso de los ingredientes activos de los medicamentos veterinarios por su nivel de riesgo, para evitar que puedan ser nocivos para la salud pública y animal, a causa del abuso o desvío de uso de éstos. Los

antimicrobianos se clasifican en el grupo II y requieren para su venta una receta médica simple elaborada por el Médico Veterinario con cédula profesional. El Veterinario, debe supervisar la dosificación y su posible interacción indeseable con otros ingredientes activos, también debe vigilar su tiempo de retiro cuando es administrado en los animales de abasto (18).

Restricción en el Uso. El uso de los antimicrobianos, en algunos casos, está limitado en alguna de las etapas de crianza de los animales de abasto, por ejemplo, el carbadox, puede administrarse por vía oral únicamente en la primera etapa de desarrollo de los porcinos y deben descartarse sus productos durante esta etapa para consumo humano (19).

Prohibición en el Uso. En México no está permitido el uso de los Antimicrobianos como promotores del crecimiento en animales de abasto desde el año 2012 (19), ya que, en ausencia de signos clínicos de enfermedad en los animales, no se recomienda el uso de dichos fármacos. Existe, también, un Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF), que menciona los productos prohibidos para uso en los

animales de abasto, por ejemplo, el cloranfenicol (20).

Residuos de antimicrobianos.

Existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que tratan sobre prevenir la contaminación en las materias primas, ingredientes y/o aditivos alimenticios, envases, embalajes, que puedan ser nocivos para la salud pública o representen un riesgo zoonosológico, demostrar los tiempos de retiro o límites máximos de residuos permisibles. Además, es compromiso de los laboratorios farmacéuticos dar las instrucciones precisas para la destrucción de los envases vacíos del producto (21,22). También está el Acuerdo que trata sobre las bases que garantizan la inocuidad de los productos alimenticios de origen animal para consumo nacional y de exportación; En este acuerdo, se establecen los criterios para determinar los límites máximos de residuos tóxicos y contaminantes, incluidos los métodos analíticos. (23).

Programa Nacional de Control y Monitoreo. Para los bienes de origen animal, recursos acuícolas y pesqueros, existen el Programa de Monitoreo de los residuos, así como el módulo de consulta,

incluido un listado de los límites máximos de residuos (LMR), de los antimicrobianos, estos instrumentos, se encuentran regulados por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), con la finalidad de controlar los residuos tóxicos y contaminantes. Los LMR recomendados, están basados en información científica y establecidos internacionalmente, con los que se busca proteger la salud de los consumidores y facilitar las exportaciones (24).

Combate a la Resistencia a los antimicrobianos.

Aunado a lo anterior, se publicó en el DOF, el 5 de mayo del 2018, un ACUERDO de obligatoriedad del combate contra la RAM. En el sitio web de SENASICA, cuenta con un micrositio sobre la RAM, en el que se difunden documentos e información emitida por los Organismos nacionales e Internacionales y algunas instancias educativas, como la UNAM que buscan concientizar en los temas relacionados a la problemática e impacto en la salud pública, animal y ambiental debido a la generación de Residuos de antimicrobianos. Cada año se instituye “la semana nacional de Concientización del combate contra la RAM”, en el que

exponen los diferentes actores sobre los temas y avances en estos temas (25).

Sistema jurídico ambiental. La legislación ambiental del país tiene como eje rector la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la inspección y fiscalización está a cargo de la PROFEPA. Las disposiciones de la LEEGPA son de orden público e interés social, propician el desarrollo sostenible y establecen las bases para garantizar un medio ambiente sano para el desarrollo, salud y bienestar de las personas, cuenta con leyes reglamentarias en Materia de Impacto Ambiental, de Residuos Peligrosos, Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, entre otras (26).

Políticas públicas (Manejo de residuos sólidos).

Obligaciones de las empresas en materia de Residuos peligrosos. De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), un residuo peligroso (RP) es un material o producto cuyo generador desecha y se encuentra en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y es susceptible de ser clasificado y tratado para su disposición final por

contener al menos una de las características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico-infeccioso), con el fin de contribuir a la protección y la salud ambiental. La PROFEPA se encarga de verificar el cumplimiento de todas las obligaciones de quienes los generan, y las empresas de recolección, transporte, acopio, disposición o reciclamiento de estos. En el listado 4 de la NOM, se encuentran los medicamentos, clasificados como residuos peligrosos derivados del desecho de productos químicos, fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos, crónicos) (27, 28).

Recolección de medicamentos vencidos en farmacias para la población. En México, el Sistema Nacional de Gestión de Residuos de envases y medicamentos (SINGREM), se encarga del procesamiento correcto de los desechos farmacéuticos, creada por la Industria farmacéutica, como una asociación civil sin fines de lucro, y es apoyada por las autoridades de salud y medio ambiente para el manejo y disposición final de los medicamentos caducos y sus sobrantes. El SINGREM se dedica al acopio, recolección, traslado y la entrega garantizada de medicamentos

desechados y sus envases a empresas especializadas en la destrucción no contaminante de residuos peligrosos, está afiliada a la Red Iberoamericana de Programas de Consumo de Medicamentos, fue creada desde el año 2007, con el apoyo de CANIFARMA (Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica), AMIIF (La Asociación Mexicana de Industrias de Investigación Farmacéutica, A. C.) y ANAFAM (Asociación Nacional de Fabricantes de Medicamentos A.C.). El SINGREM trabaja en 25 de los 32 estados de la República Mexicana desde 2009, funciona por medio de contenedores que se ubican preferentemente en las farmacias con el fin de garantizar que los medicamentos y sus envases no se desvíen al mercado ilegal. El sistema cuenta con un sitio web en el que el usuario puede ubicar los lugares para depositar los medicamentos caducos (29).

Conclusiones

Desde el punto de vista de “Una Salud”, nuestro país cuenta con los mecanismos regulatorios necesarios para el buen uso de los antimicrobianos, es papel del Médico Veterinario, junto con el Personal médico en el área humana, cumplirlas y

efectuar acciones para contener y disminuir el riesgo de desarrollo de los residuos de antimicrobianos y la resistencia, les corresponde optimizar la utilización de antimicrobianos al tratar infecciones, disminuir su transmisión y mejorar el control de las enfermedades infecciosas.

Para ello, los Médicos Veterinarios deben contar con el conocimiento de las propiedades farmacológicas de los medicamentos, además, debe demostrar preparación y habilidades para la prestación de servicios profesionales, para prevenir, identificar, controlar y/o erradicar las zoonosis; promover el bienestar y la salud (Una Salud), de la sociedad y, de los animales.

El profesional debe ejercer buenas prácticas pecuarias, establecer medidas de bioseguridad (limpieza y desinfección); selección y prescripción del antimicrobiano; registro e identificación de los animales tratados; conocer los límites máximos de residuos permitidos (LMR); cuidar el tiempo de retiro de los antimicrobianos y garantizar el rastreo y trazabilidad; debe ejercer la clínica de la medicina y la producción bajo esquemas de sostenibilidad y conservación del ambiente que garantice

la seguridad alimentaria del país, debe actualizarse permanente para garantizar la calidad de su servicio,

Es importante establecer control en todos los niveles y campos de uso de los antimicrobianos, se requiere estimular la investigación y desarrollo de nuevos antimicrobianos y educación de la población general, incluyendo al personal de salud, sobre el uso apropiado de antimicrobianos.

Otras actividades necesarias, que no se realizan, son: Auditar y monitorear para reconocer el grado de avance de las estrategias planteadas, implementar indicadores que cumplan con los criterios de efectividad, eficiencia, relevancia y predicción, para lograrlo, es indispensable llevar a cabo la compilación de información y datos pertinentes como lo está haciendo la Unión Europea y que esté disponible en tiempo real y con el fin de realizar el seguimiento, análisis y la evaluación a largo plazo. Como lo señala uno de los objetivos de Una Salud, se debe fortalecer la generación de datos, a través de la investigación y la vigilancia epidemiológica, para contar con evidencias científicas para la toma de decisiones.

La lucha contra la RAM es una actividad global, ya que rebasa fronteras y estructuras de gobierno, requiere de un abordaje integral y la colaboración y coordinación multisectorial. Es la suma de las actividades individuales de los usuarios en las etapas de fabricación, prescripción, comercialización, venta y uso de los antimicrobianos, incluye acciones regulatorias apropiadas sobre su uso en los ámbitos de “Una Sola Salud” y que estén armonizadas a nivel global, se debe difundir, informar e incluir a todos los Sectores gubernamentales, y a los consumidores, sobre las estrategias y acciones establecidas contra la RAM.

Referencias

1. Hollis A., Ahmed Z. (2013) Preserving antibiotics, rationally. *N Engl J Med.* Dec 26;369(26):2474-6. doi: 10.1056/NEJMp1311479.
2. Vargas-Estrada D., Arvizu-Tovar L.O., Juárez-Rodríguez I., et al., (2021). Función del médico veterinario en el control del impacto de los residuos de antimicrobianos en la sanidad animal, humana y ecológica. Aspectos legales: derechos, obligaciones y atribuciones. UNAM (FMVZ), 274pp. https://papimes.fmvz.unam.mx/proyectos/control_impacto/

3. SADER. (2012). ACUERDO por el que se modifica el diverso por el que se establece la clasificación y prescripción de los productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos. DOF: 05 de marzo de 2012.
4. Abbott, A. (2015). Animal behaviour: Inside the cunning, caring and greedy minds of fish. *Nature*, 521(7553), 412–414. <http://doi.org/10.1038/521412a>
5. Abedin, M., and King, N. (2010). Diverse evolutionary paths to cell adhesion. *Trends in Cell Biology*, 20(12), 734–42. <http://doi.org/10.1016/j.tcb.2010.08.000>
6. OIE. Organización mundial de Sanidad Animal. -Código Sanitario para los Animales Terrestres. (2019a) Uso responsable y prudente de agentes antimicrobianos en medicina veterinaria. París Francia.
7. Arvizu Tovar, L.O, Benitez Celorio E.A., Cárdenas Lara J., et al., (2021). Compilación de la legislación de interés en Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM (FMVZ), 784 pp. https://papimes.fmvz.unam.mx/proyectos/compilacion_legislacion/
8. Vargas-Estrada, D., (2020), Resultados Encuesta Final de Conocimientos sobre RAM. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/538745/RAM_-_Resultados_Encuesta_Final_de_Conocimientos_sobre_RAM_-_Comit_PQF_CONASA_-_Diciembre_2019.pdf
9. OIE. Organización mundial de Sanidad Animal. Lista de Agentes antimicrobianos importantes para la medicina Veterinaria (2019b) París Francia. https://www.oie.int/es/documento/e_oie_lista_antimicrobianos_junio2019/
10. OMS. Organización Mundial de la Salud. (2019). Lista OMS de antimicrobianos de importancia crítica para la medicina humana. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/325037>
11. Heshmati, A. (2015). Impact of Cooking Procedures on Antibacterial Drug Residues in Foods: A Review. *J. Food Qual. Hazards Control*, 2 (2) :33-37. URL: <http://jfqhc.ssu.ac.ir/article-1-142-en.html>
12. Grunwald, L., Petz, M. (2003). Food processing effects on residues: penicillins in milk and yoghurt,

Analytica Chimica Acta, 483(1–2), pp 73-79, [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)01405-8](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)01405-8).

13. Bonyadian, M., Mahmoodi Kordi, F. (2020). Comparison of Yogurt Test with Commercial Kit for Detection of Antibiotic Residues in Raw and Pasteurized Milk, *Iranian Journal of Veterinary Medicine*, 14(4), pp. 394-401. doi:10.22059/ijvm.2020.284171.1005003

14. Canizalez-Roman, A., Velazquez-Roman, J., Valdez-Flores, M.A., et al., (2019). Detection of antimicrobial-resistance diarrheagenic *Escherichia coli* strains in surface water used to irrigate food products in the northwest of Mexico. *Int J Food Microbiol.* 2(304), pp 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.017>.

15. Prestinaci, F., Pezzotti, P., & Pantosti, A. (2015). Antimicrobial resistance: a global multifaceted phenomenon. *Pathogens and global health*, 109(7), 309–318. <https://doi.org/10.1179/2047773215Y.0000000030>

16. Garza-González, E, Morfín-Otero R, Mendoza-Olazarán S, et.al., (2019). A snapshot of antimicrobial resistance in

Mexico. Results from 47 centers from 20 states during a six-month period. *PLoS One*. Mar 26;14(3):e0209865. doi: 10.1371/journal.pone.0209865.

17. Morales, R. México es ya octavo global en envíos de agroproductos (2021). <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-es-ya-octavo-global-en-envios-de-agroproductos-20210902-0030.html>

18. SADER. (2003). Norma Oficial Mexicana. NOM-064-ZOO-2000, Lineamientos para la clasificación y prescripción de productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos, DOF, 27 de enero de 2003.

19. SADER (2012) ACUERDO por el que se modifica el diverso por el que se establece la clasificación y prescripción de los productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos. DOF: 05/03/2012.

20. SADER. (2018a). ACUERDO por el que se da a conocer el listado de sustancias o productos prohibidos para uso o consumo en animales destinados al abasto. DOF Viernes 13 de julio de 2018.

21. SADER. (2004). NOM-012-ZOO-1993, Especificaciones para la

regulación de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. Modificación publicada en el DOF, el 27 de enero de 2004.

22. Secretaría de Salud. (1997). NOM-130-SSA1-1995, Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias. 21 de agosto de 1995

23. SADER. (2014). ACUERDO por el que se establecen los criterios para determinar los límites máximos de residuos tóxicos y contaminantes, de funcionamiento de métodos analíticos, el Programa Nacional de Control y Monitoreo de Residuos Tóxicos en los bienes de origen animal, recursos acuícolas y pesqueros, y Programa de Monitoreo de Residuos Tóxicos en animales, así como el módulo de consulta, los cuales se encuentran regulados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. DOF, 09 de octubre de 2014

24. SENASICA. (2014). Programa Nacional de Control y Monitoreo de Residuos Tóxicos en los bienes de

origen animal, recursos acuícolas y pesqueros. Publicado el 9 de octubre de 2014.

25. SADER. (2018b). ACUERDO por el que se declara la obligatoriedad de la Estrategia Nacional de Acción contra la Resistencia a los Antimicrobianos. DOF: 05/06/2018

26. PROFEPA.(1988)<https://www.gob.mx/profepa/articulos/obligaciones-de-las-empresas-en-materia-de-residuos-peligrosos?idiom=es>

27. SEMARNAT. (2006). NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. DOF 23 de junio 2006.

28. Secretaría de Salud. (2003). NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Protección ambiental-salud ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos-clasificación y especificación de manejo, los residuos peligrosos biológico-infecciosos. DOF 17 de febrero de 2003.

29. SINGREM. (2007) <https://codigof.mx/singrem-el-reto-de-ser-la-unica-opcion-en-mexico-para-el-procesamiento-correcto-de-los-desechos-farmacuticos/>

Investigación y desarrollo de una vacuna contra la babesiosis bovina

Juan Joel Mosqueda Gualito

Correo electrónico:

joel.mosqueda@uaq.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
18 de octubre de 2022**

RESUMEN

Las vacunas tienen un impacto positivo en la salud animal y tienen ventajas sobre otros métodos de control. La babesiosis bovina es una enfermedad que, en el continente americano, es causada por *Babesia bovis* y *Babesia bigemina*, y es transmitida por garrapatas *Rhipicephalus microplus* y *R. annulatus*. Existen vacunas vivas atenuadas, que son muy efectivas, desafortunadamente debido a sus desventajas, solo unos pocos países las producen. Por lo tanto, es necesario desarrollar vacunas utilizando nueva tecnología. Nuestra propuesta de investigación es desarrollar vacunas contra la babesiosis bovina basadas en construcciones de proteínas recombinantes multiantigénicas y multiepitópicas. Las secuencias de estas regiones peptídicas fueron ensambladas para construir genes sintéticos expresados en sistemas bacterianos. Los ensayos clínicos demostraron que la vacunación con una proteína quimérica contra *B. bigemina* en bovinos es inmunogénica y eficaz. Se concluye que las vacunas quiméricas, multiantigénicas y mutiepitópicas son una opción efectiva y moderna que pueden utilizarse para prevenir esta enfermedad.

Palabras clave: Babesiosis bovina, vacuna recombinante, proteína quimérica, epítomos B, epítomos T.

Introducción

Las vacunas se definen como una preparación de microorganismos (vivos, atenuados o inactivados) o sus componentes (proteínas, carbohidratos o ácidos nucleicos), que se administran a un organismo para inducir la inmunidad con el objetivo de proteger a un individuo contra enfermedades en el futuro. Edward Jenner fue el primero en demostrar que la protección contra las enfermedades podía adquirirse mediante la introducción de material de un patógeno atenuado en el cuerpo (1). El desarrollo de vacunas ha tenido un impacto positivo en la salud humana y animal. La vacunación ha reducido considerablemente la cantidad de enfermedades infecciosas y se considera un derecho humano fundamental (2).

Para que una vacuna funcione, primero debe inducir una respuesta inmune innata, seguida de una respuesta inmune adaptativa (humoral, celular o ambas) (3). Las vacunas tienen varias ventajas frente a los tratamientos químicos para combatir enfermedades, ya que las vacunas no generan resistencia, no son costosas, requieren pocas aplicaciones y son ecológicamente amigables (4). Por lo tanto, actualmente se realizan esfuerzos científicos para el desarrollo de vacunas

contra muchas enfermedades de los animales, y esto incluye a las vacunas contra las enfermedades que transmiten las garrapatas, como la babesiosis.

Babesiosis bovina

La babesiosis bovina es una enfermedad del ganado, en el continente americano se transmite por garrapatas *Rhipicephalus microplus* y *R. annulatus*, y es causada por *Babesia bovis* y *Babesia bigemina*, dos parásitos protozoarios del filo Apicomplexa. La babesiosis bovina se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales, y en México está presente en el 51.5% del territorio nacional (5). Aunque el costo ocasionado por las enfermedades transmitidas por garrapatas no ha sido estimado recientemente en México; en 1975, este fue de alrededor de 186 millones de dólares anuales, mucho de lo cual es atribuido a las pérdidas en la producción de carne y leche de los bovinos infectados (6). El impacto negativo de las garrapatas del ganado y la babesiosis bovina en la industria ganadera en la mayor parte del mundo persiste y esto se debe a la ausencia de vacunas comerciales seguras y efectivas en muchos países, incluido México. Los bovinos menores de 10 meses no desarrollan signos clínicos cuando se

infectan con el parásito, por lo que al llegar a la edad adulta tienen una inmunidad protectora. Sin embargo, los bovinos nacidos en áreas libres de garrapatas, y de más de un año de edad, son altamente susceptibles a la enfermedad cuando se exponen al parásito por primera vez; desarrollando una infección aguda y, en algunos casos, si no se tratan a tiempo, la enfermedad causa una alta morbilidad y mortalidad (7). La vacunación representa una estrategia para prevenir la babesiosis bovina en animales susceptibles.

Desarrollo de vacunas contra la babesiosis bovina

A la fecha, la vacunación se utiliza en algunos países para controlar brotes y restringir la diseminación de la enfermedad. Las vacunas actuales en algunos países consisten en preparaciones de parásitos vivos atenuados, ya sea cultivados *in vitro* u obtenidos de sangre infectada en becerros esplenectomizados (8). En algunos países como Argentina, Australia, Israel y Sudáfrica, existen vacunas vivas atenuadas, que son muy efectivas. México desarrolló, hace algunas décadas, vacunas vivas efectivas contra *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* derivadas de parásitos atenuados

cultivados *in vitro* (9, 10). Las vacunas vivas, aunque confieren una inmunidad sólida, desafortunadamente, tienen muchas desventajas, como su alto costo de producción, la dificultad de mantener una cadena fría, el riesgo de propagación de otras enfermedades y su potencial reversión a la virulencia (11). Actualmente, no existe ninguna vacuna en el mundo contra esta enfermedad que utilice tecnología recombinante.

Por lo tanto, es necesario desarrollar vacunas a partir de antígenos específicos. Estos antígenos deben poseer las siguientes características: a) contener epítomos B y T conservados en cepas de distintas zonas geográficas, b) que estén expuestos a la unión de los anticuerpos, es decir expuestos en la superficie de la proteína y expuestos en la superficie de la célula del patógeno, c) deben ser inmunogénicos y d) deben estar involucrados en mecanismos de importancia biológica para el patógeno como la adhesión, la invasión o la reproducción sexual. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados por diversos grupos de investigación, a la fecha, no se ha encontrado ningún antígeno en ningún parásito Apicomplexa incluyendo *Babesia*, *Plasmodium*, *Theileria* o *Toxoplasma* que contenga todas estas características. Los

fracasos reportados para el desarrollo de vacunas recombinantes basadas en un solo antígeno (12,13) y las limitaciones en la producción de vacunas vivas, han llevado a proponer el desarrollo de nuevas estrategias para el desarrollo de vacunas contra la babesiosis.

Una nueva estrategia es el uso de dos o más antígenos inmunogénicos combinados. En este contexto, nosotros y otros grupos, hemos propuesto el desarrollo de vacunas contra la babesiosis bovina basadas en construcciones de proteínas recombinantes multiantigénicas y multiepitópicas. Esta estrategia se basa en la identificación e incorporación de regiones inmunogénicas específicas que contienen epítomos de células T y B y estas regiones pueden expresarse juntas en un solo antígeno quimérico. Primero, deben caracterizarse los genes que codifican a antígenos vacunales, esto se logra evaluando la expresión de estos antígenos en las fases infectantes del protozooario como los merozoitos y los esporozoitos (14,15), realizando búsquedas en bases de datos de genomas completos utilizando distintas herramientas de genómica y bioinformática (16, 17). Mediante estas metodologías, en nuestro grupo de investigación hemos caracterizado varios antígenos con

potencial vacunal en *B. bigemina* y *B. bovis*. Estos antígenos deben contener epítomos B y generar anticuerpos que neutralicen la invasión de los parásitos a los eritrocitos o inhiban la fusión de los gametos (18, 19, 20, 21, 22). Una condición esencial para que la vacunación con estos antígenos sea efectiva, es que generen anticuerpos neutralizantes (23, 24). Finalmente, estos candidatos vacunales, deben inducir respuestas celulares, con células que produzcan citocinas tipo Th1 y generar una memoria de larga duración (25).

Una vez identificados los antígenos candidatos que contienen epítomos B y que demostraron generan anticuerpos que neutralizan la invasión, se seleccionaron las regiones peptídicas de esos antígenos, inicialmente con herramientas de bioinformática y utilizando el conocimiento de la respuesta inmune de los bovinos (26). Las secuencias codificantes de estas regiones peptídicas fueron ensambladas para construir genes sintéticos que, al ser expresados en sistemas bacterianos, generaron proteínas quiméricas multi-antigénicas y multi-epitópicas con potencial vacunal. Los ensayos clínicos que utilizaron estas proteínas demostraron que la vacunación con una proteína quimérica contra *B. bigemina* en bovinos es

inmunogénica y su eficacia fue comprobada en ensayos de desafío con cepas virulentas. Con estos resultados, es posible generar vacunas con potencial para utilizarse en programas para prevenir esta enfermedad en México y otras regiones del mundo donde la enfermedad es endémica. Por lo anterior, los resultados obtenidos en estos estudios han sido patentados (27).

Conclusiones

La babesiosis bovina es una enfermedad endémica de México que requiere vacunas seguras y efectivas. Las vacunas deben generar una inmunidad similar a la que genera la infección natural. Las vacunas de un solo antígeno no son eficaces por lo que se requieren antígenos que contengan epitopos B que induzcan anticuerpos neutralizantes y que bloqueen funciones biológicas importantes como la fusión sexual. También deben contener epitopos T y generar respuestas celulares que induzcan la producción de citocinas Th1 en los animales vacunados. Las vacunas quiméricas, multiantigénicas y mutiepítópicas son una opción efectiva y moderna que pueden utilizarse para prevenir esta enfermedad.

Agradecimientos

Se reconoce el apoyo de todos los estudiantes de licenciatura y posgrado que han contribuido a este proyecto, así como a los colaboradores de la misma Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y de otras instituciones nacionales e internacionales. Finalmente se agradece el apoyo financiero para este proyecto al CONACyT, a la UAQ a través de los fondos FOPER, FOFIUAQ, FONDEC y a la USDA.

Referencias

1. Jenner, E. (1798). An Inquiry into the Causes and Effects of the Variole Vaccine, or Cow-Pox, 17b98. In E. Jenner (Ed.), *Vaccination against Smallpox* (Lit2Go ed.). United States of America.
2. Plotkin, S. L., & Plotkin, S. A. (2012). A short history of vaccination. In S. A. Plotkin & W. A. Orenstein (Eds.), *Vaccines* (4th ed., pp. 1-15). Philadelphia: WB Saunders.
3. Vetter, V., Denizer, G., Friedland, L. R., Krishnan, J., & Shapiro, M. (2018). Understanding modern-day vaccines: what you need to know. *Ann Med*, 50(2), 110-120.
doi:10.1080/07853890.2017.1407035.

4. Donald, A. D. (1994). Parasites, animal production and sustainable development. *Vet Parasitol*, 54(1-3), 27-47.
5. Mosqueda J, Olvera-Ramirez A, Aguilar-Tipacamu G, Canto G. Current advances in detection and treatment of babesiosis. *Current Medicinal Chemistry*. 2012;19(10):1504-1518.
6. Beltran, L. G. (1975). National anti-Tick Campaign. *Ectoparasites Seminar*, CIAT.
7. Bock, R., L. Jackson, et al. (2004). Babesiosis of cattle. *Parasitology* 129 Suppl: S247-69.
8. De Vos, A. J. and R. E. Bock (2000). Vaccination against bovine babesiosis. *Ann N Y Acad Sci* 916: 540-5.
9. Cantó Alarcón Germinal Jorge, Jesús Antonio Álvarez Martínez, Edmundo Enrique Rojas Ramírez, Juan Alberto Ramos Aragón, Juan Joel Mosqueda Gualito, Carlos Agustín Vega Y Murguía, Julio Vicente Figueroa Millán. Protection against bovine babesiosis with a mixed *in vitro* culture-derived *B. bovis* and *B. bigemina* vaccine under a field challenge. *Immunization in a disease-free area. Veterinaria México*. 2003, 34(4): 323-332.9.
10. Germinal Jorge Cantó Alarcón, Edmundo Enrique Rojas Ramírez, Jesús Antonio Álvarez Martínez, Juan Alberto Ramos Aragón, Juan Joel Mosqueda Gualito, Carlos Agustín Vega Y Murguía, Julio Vicente Figueroa Millán. Protection against bovine babesiosis with a mixed *in vitro* culture-derived *B. bovis* and *B. bigemina* vaccine under a field challenge. *Técnica Pecuaria En México*. 2003; 41(3): 307-315.
11. Florin-Christensen M, Suarez C, Rodriguez A, Flores D, Schnittger L. Vaccines against bovine babesiosis: where we are now and possible roads ahead. *Parasitology*. 2014;141(12):1563-1592.
12. Norimine J, Mosqueda J, Suarez C, Palmer G, McElwain T, Mbassa G et al. Stimulation of T-helper cell gamma interferon and immunoglobulin g responses specific for Babesia bovis Rhoptry-Associated Protein 1 (RAP-1) or a RAP-1 protein lacking the carboxy-terminal repeat region is insufficient to provide protective immunity against virulent B. bovis Challenge. *Infection and Immunity*. 2003;71(9):5021-5032.
13. Hines S, Palmer G, Jasmer D, Goff W, McElwain T. Immunization of cattle with recombinant *Babesia bovis* merozoite surface antigen 1. *Infection and immunity*. 1995;63(1):349-352.

14. Mosqueda Juan, Terry F. McElwain, David Stiller, And Guy H. Palmer. *Babesia bovis* merozoite surface antigen 1 and rhoptry associated protein 1 are expressed in sporozoites, and specific antibodies inhibit sporozoite attachment to erythrocytes. *Infection and Immunity*. Marzo 2002, VOL. 70, NO. 3. P. 1599-1603.
15. Mosqueda Juan, Terry F. McElwain, And Guy H. Palmer. *Babesia bovis* merozoite surface antigen 2 proteins are expressed on the merozoite and sporozoite surface and specific antibodies inhibit attachment and invasion of erythrocytes. *Infection And Immunity*. Noviembre, 2002, VOL. 70, NO. 11. P 6448-6455.
16. Mosqueda J, Falcón Neri A, Ramos Aragón J, Canto Alarcón G, Camacho-Nuez M. Estrategias genómicas y moleculares para el control de la babesiosis bovina. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2012;3(Suppl 1):51-59.
17. Mosqueda Juan, Diego Josimar Hernández-Silva y Mario Hidalgo-Ruiz. Genome-based vaccinology applied to Bovine babesiosis. Libro: *Farm Animals Diseases, Recent Omic Trends and New Strategies of Treatment*. Autor: Rosa Estela Quiroz-Castañeda. Editorial: IntechOpen. ISBN 978-953-51-3912-6, Print ISBN 9789535139119. Published: March 21, 2018. pp: 65- 81. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72636>.
18. Camacho-Nuez, M., Hernández-Silva, D. J., Castañeda-Ortiz, E. J., Paredes-Martínez, M. E., Rocha-Martínez, M. K., Alvarez-Sánchez, M. E., Mercado-Curiel, R. F., Aguilar-Tipacamú, G., & Mosqueda, J. (2017). Hap2, a novel gene in *Babesia bigemina* is expressed in tick stages, and specific antibodies block zygote formation. *Parasites & vectors*, 10(1), 568. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2510-0>
19. Hernández-Silva, D. J., Valdez-Espinoza, U. M., Mercado-Uriostegui, M. A., Aguilar-Tipacamú, G., Ramos-Aragón, J. A., Hernández-Ortiz, R., Ueti, M., & Mosqueda, J. (2018). Immunomolecular Characterization of MIC-1, a Novel Antigen in *Babesia bigemina*, Which Contains Conserved and Immunodominant B-Cell Epitopes that Induce Neutralizing Antibodies. *Veterinary sciences*, 5(2), 32. <https://doi.org/10.3390/vetsci5020032>.

20. Hidalgo-Ruiz M., Carlos E. Suarez, Miguel A. Mercado-Uriostegui, Ruben Hernandez-Ortiz, Juan Alberto Ramos, Edelmira Galindo-Velasco, Gloria León-Ávila, José Manuel Hernández and Juan Mosqueda. *Babesia bovis* RON2 contains conserved B-cell epitopes that induce an invasion-blocking humoral immune response in immunized cattle. *Parasites & Vectors*. November 3, 2018. 11:575.
21. Barreda Dante, Mario Hidalgo-Ruiz, Ruben Hernandez-Ortiz, Juan Alberto Ramos, Edelmira Galindo-Velasco and Juan Mosqueda. Identification of conserved peptides containing B-cell epitopes of *Babesia bovis* AMA-1 and their potential as diagnostics candidates. *Transboundary and Emerging Diseases*. April 23, 2019. 00:1–9.
22. Mosqueda Juan, Mario Hidalgo-Ruiz, Diana Alexandra Calvo-Olvera, Diego Josimar Hernandez-Silva, Massaro Wilson Ueti, Miguel Angel Mercado-Uriostegui, Angelina Rodriguez, Juan Alberto Ramos-Aragon, Ruben Hernandez-Ortiz, Shin-ichiro Kawazu and Ikuo Igarashi. RON2, a novel gene in *Babesia bigemina*, contains conserved, immunodominant B-cell epitopes that induce antibodies that block merozoite invasion. *Parasitology* September 13, 2019; 146(13): 1643-1654.
23. Norimine J, Mosqueda J, Suarez C, Palmer G, McElwain T, Mbassa G et al. Stimulation of T-helper cell gamma interferon and immunoglobulin g responses specific for *Babesia bovis* Rhoptry-Associated Protein 1 (RAP-1) or a RAP-1 protein lacking the carboxy-terminal repeat region is insufficient to provide protective immunity against virulent *B. bovis* Challenge. *Infection and Immunity*. 2003;71(9):5021-5032.
24. Jaramillo Ortiz JM, Paoletta MS, Gravisaco MJ, López Arias LS, Montenegro VN, de la Fournière SAM, Valenzano MN, Guillemi EC, Valentini B, Echaide I, Farber MD, Wilkowsky SE. Immunisation of cattle against *Babesia bovis* combining a multi-epitope modified vaccinia Ankara virus and a recombinant protein induce strong Th1 cell responses but fails to trigger neutralising antibodies required for protection. *Ticks Tick Borne Dis*. 2019 Oct;10(6):101270.
25. Hidalgo-Ruiz, M., Mejia-López, S., Pérez-Serrano, R. M., Zaldívar-Lelo de Larrea, G., Ganzinelli, S., Florin-Christensen, M., Suarez, C. E., Hernández-Ortiz, R., Mercado-Uriostegui, M. A., Rodríguez-Torres, A.,

Carvajal-Gamez, B. I., Camacho-Nuez, M., Wilkowsky, S. E., & Mosqueda, J. (2022). *Babesia bovis* AMA-1, MSA-2c and RAP-1 contain conserved B and T-cell epitopes, which generate neutralizing antibodies and a long-lasting Th1 immune response in vaccinated cattle. *Vaccine*, S0264-410X(22)00049-4. Advance online publication.

<https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2022.01.023>.

26. Mosqueda Juan, Susana Mejia-López and Miguel Angel Mercado-Uriostegui. Molecular mechanisms of *Babesia* invasion: potential targets for vaccine development. Libro: Anti-infective Research and Development: Updates on Infection Mechanisms and Treatments. Editorial: Bentham Science Publishers. 2020. ISBN: 978-981-14-6956-5. Pp.: 161-181.

27. Mosqueda Gualito Juan Joel y Hernández Silva Diego Josimar. Registro de patente. Secuencia quimérica multiantigénica de aminoácidos para su uso en el diagnóstico y como vacuna contra *Babesia bigemina*. Fecha de solicitud: 6 de febrero de 2019. Fecha de registro: 22 de abril de 2019. Número de registro: Mx/a/2019/001555

La metagenómica como herramienta en salud animal

Edith Rojas Anaya*
Marco Aurelio Aragón Magadan
Marco Antonio Santillán Flores
Elizabeth Loza Rubio

Correo electrónico:

rojas.edith@inifap.gob.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
28 de marzo de 2023**

RESUMEN

Desde hace más de 20 años las herramientas tecnológicas generadas para la secuenciación de material genético de diversas especies y formas de vida han permitido avances sustanciales en el estudio de las enfermedades que van desde el análisis de microorganismos cultivables como aquellos no cultivables, la epidemiología, prevención y el conocimiento de agentes causantes de enfermedades emergentes y reemergentes, lo anterior permite tener un panorama que puede servir incluso para la vigilancia de agentes potencialmente peligrosos en la salud animal y por ende salud pública.

Palabras clave: Metagenomas, secuenciación, salud animal, babesiosis bovina, vacuna recombinante, proteína quimérica, epítomos B, epítomos T.

Introducción

Los recursos de secuenciación masiva específicamente han permitido determinar microbiomas asociados a microambientes de interés en salud y en producción animal como por ejemplo la descripción del microbioma ruminal y su asociación tanto a nivel de salud, producción y cambio climático, lo anterior a tal nivel que se cuenta con bancos completos de información solamente dedicado a compartir dicha información por las implicaciones que tiene (6,7). En este sentido, la información metagenómica representa una gran valía como instrumento que permite determinar la composición de microorganismos, incluyendo virus, que están presentes en un microambiente específico ya sea de material biológico cultivado o no cultivado (5).

La NGS puede utilizarse con dos enfoques: la metagenómica dirigida (región objetivo específico), o haciendo *shotgun*, en donde se secuencia regiones al azar todas las secuencias de una muestra (no específica). En el contexto de los recursos genéticos, la NGS es una de las herramientas más poderosas para la caracterización de

microorganismos incluyendo virus que van a ser conservados en los bancos de germoplasma, ya que una condición para la conformación de las colecciones es la caracterización de los microorganismos que van a ser depositados en dichos bancos. El conocimiento de las secuencias de los agentes infecciosos y de las interacciones que tienen con sus hospederos permiten un mejor entendimiento de las enfermedades dilucidar el papel ecológico entre ellos. Como se mencionó previamente el uso de estas tecnologías hace posible la detección de agentes infecciosos que por otros métodos no es tan evidente, especialmente en microorganismos que no son cultivables o que su cultivo o identificación por medios tradicionales es complicado.

El presente documento expone algunos trabajos realizados justamente con la finalidad de identificar agentes infecciosos en diferentes especies utilizando NGS por *shotgun* con la finalidad de describir el microbioma y viroma de estas especies productivas. Se presentan tres casos, la identificación de dos virus en pequeños rumiantes que han sido poco descritos en la literatura. Por

otro lado, la inferencia filogenética del genoma de dos cepas de paratuberculosis bovina de un banco de germoplasma.

Desarrollo

Evaluación de genomas virales en pequeños rumiantes. El objetivo de este trabajo fue identificar por secuenciación masiva los virus presentes en hisopos rectales, orales y nasofaríngeos de cabras criollas de sistemas familiares de producción de rebaños de diferentes regiones de México. De las muestras biológicas se extrajo tanto ADN como ARN y se realizó la secuenciación por el sistema Miseq (Illumina). Para el análisis se construyó una base de datos personalizada de virus conformada por todas las secuencias virales de referencia asociados a vertebrados del Viral genome browser del NCBI. Las librerías obtenidas. El ensamble de las librerías dio como resultados 21 secuencias putativas de virus y la identificación taxonómica por BLAST determino que las secuencias virales recuperadas corresponden a los virus Enzootic nasal tumor virus y Jaagsiekte sheep retrovirus y los virus Enzootic nasal tumor virus y Jaagsiekte sheep retrovirus.

Secuenciación de genomas bacterianos. La paratuberculosis es una enfermedad de impacto económico en México y diversos estudios publicados desde el 2012 demuestran la presencia de la bacteria en hatos y rebaños de diversos estados de la República Mexicana utilizando tanto serología como identificación por PCR. Existen pocos estudios epidemiológicos moleculares en México utilizando herramientas de secuenciación que permitan su caracterización genómica; de hecho, a la fecha no se conoce si genéticamente las cepas circulantes en el país son homologas a las encontradas en países vecinos en donde la enfermedad también esta diseminada. El objetivo de este estudio fue determinar la presencia de genes de resistencia a antibióticos en cepas de *Mycobacterium avium* subespecie paratuberculosis (MAP) de origen bovino; mediante secuenciación de nueva generación Se obtuvo el ADN de cepas de *Mycobacterium avium* subsp. paratuberculosis de diferentes orígenes geográficos y hospederos y la secuenciación se realizó en un equipo Ion Torrent S5 utilizando chips 530 siguiendo las instrucciones del fabricante de donde se

obtuvieron dos librerías en crudo de un solo extremo. Las librerías se ensamblaron de novo en el programa spades y los resultados fueron procesados con ragtag, para la construcción de las secuencias y obtener así el genoma completo utilizando un genoma publicado de referencia.

El resultado del ensamble arrojó dos genomas de 4,851,469 pb y 4,745,307 pb correspondientes al 99.23 y 97.05 % de la longitud del genoma de *M. avium* subsp. paratuberculosis, el cual tiene una longitud de 4,889,107 pb. El tamaño medio de esta subespecie de *M. avium* está reportado de 4.83 MB \pm 29.6 kb (1) por lo que se puede considerar que el primer genoma se encuentra completo, mientras que el segundo falta fragmentos por determinar. Los resultados de la predicción y anotación de genes señalan que una de las muestras contiene un total de 4,752 secuencias de codificación de proteínas (CDS), 3 rRNA, 45 tRNA y un tmRNA. La segunda muestra correspondiente a bovino contiene un total de 4,641 CDS, 3 rRNA, 43 tRNA y un tmRNA. Ambas cepas comparten un número similar de CDS, algo similar sucede con los tRNA donde la diferencia

entre la cepa Map 017 y Map 018 es de solo 2 tRNAs. Detección de grupos de genes productores de metabolitos secundarios. Los resultados antismash de la cepa Map 017 arrojó la presencia de nueve regiones potencialmente relacionadas con la producción de metabolitos secundarios (3). En el mismo sentido, la cepa Map 018 presenta las mismas nueve regiones que la cepa Map 017. Los resultados de AMRFinderPlus detectaron la presencia de genes de resistencia a antibióticos en ambos genomas. La búsqueda de estos genes putativos se realizó *in silico*, los porcentajes de cobertura e identidad son superiores al 60 y 30 % respectivamente (3). Por lo que se puede considerar que estos genes de resistencia a antibióticos forman parte del genoma de MAP.

Conclusiones

Las técnicas moleculares permiten tener información de gran utilidad sobre los genomas agentes patógenos, lo cual permite tener herramientas para entender mejor la patología de la enfermedad, así como seleccionar marcadores genéticos que puedan ser empleados para mejorar el diagnóstico y tener candidatos para el desarrollo de

posibles inmunógenos para controlar la enfermedad.

En el conocimiento de los autores de este trabajo, este es el primer reporte en México de la identificación del virus del tumor nasal enzoótico (ENTV) en cabras de crianza en traspatio, mientras que la identificación del Jaagsiekte sheep retrovirus fue informada en el XI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos (ALEPRYCS) 2019. Este estudio es colaborativo a las nuevas herramientas moleculares, ya que el uso de la secuenciación masiva permite la identificación de agentes infecciosos que pueden no ser identificados por otros métodos de detección.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado con recursos de los proyectos: INIFAP No. 1517533023 “Virómica y microbioma de pequeños rumiantes” y Proyecto SAGARPA-CONACYT 2017-06-292826.

Referencias

1. Bannantine JP, Conde C, Bayles DO, Branger M, Biet F. Genetic Diversity Among Mycobacterium

avium Subspecies Revealed by Analysis of Complete Genome Sequences. *Frontiers in Microbiology*, 2020;11.

2. Blin K, Shaw S, Kloosterman AM, Charlop-Powers Z, van Wezel GP, Medema MH, Weber T. antiSMASH 6.0: Improving cluster detection and comparison capabilities. *Nucleic Acids Research*, 2021;49:W29–W35.

3. Pearson WR. (2013). An Introduction to Sequence Similarity (“Homology”) Searching. *Current protocols in bioinformatics / editorial board*, Andreas D.

4. Seemann, T. (2014). Prokka: Rapid prokaryotic genome annotation. *Bioinformatics (Oxford, England)*, 30(14), 2068–2069.

5. Kolte AP, Dhali A, Malik PK., Pal, Bhatta R. Metagenomics and its relevance to animal diseases. And gut health. *Indian J. Anim. Hlth.* (2020), 59(2)-Special Issue: 36-49.

6. Malmuthuge N y Guan LL. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation. *Journal of Animal Science and Biotechnology* (2017) 8:8.

7. Mott, A.C.; Schneider, D.; Hünerberg, M.; Hummel, J.; Tetens, J. Bovine Rumen Microbiome: Impact of DNA Extraction Methods and Comparison of Non-Invasive Sampling Sites. *Ruminants* 2022, 2, 112–132.

Bienestar animal y calidad e inocuidad de productos para consumo humano

Patricia Mora Medina

Correo electrónico:

mormed2001@yahoo.com.mx

Trabajo presentado en la

Sesión Solemne de Ingreso del

28 de marzo de 2023

RESUMEN

La aplicación de buenas prácticas de bienestar es un tema importante para los productores de carne, leche, huevo o peces, los clientes y sobre todo para los consumidores. Entendiéndose por bienestar animal a la ciencia aplicada que evalúa el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere. Garantizar el bienestar es una obligación en la cadena de obtención de alimentos, y la mayor responsabilidad recae en la producción primaria, ya que las malas prácticas de bienestar repercuten negativamente en los animales, así como en la calidad comercial y sanitaria de los productos destinados al abasto. En este trabajo se analizaron y discutieron los retos y temas controversiales relacionados con el bienestar de los animales destinados al abasto de alimentos y su repercusión en la calidad e inocuidad de carne, leche, huevo, miel y pescado para consumo humano.

Palabras clave: Bienestar animal, calidad, inocuidad, carne, leche, huevo, pescado, PSE, unidades Haugh.

Introducción

El término “bienestar” destinado al humano se ha difundido en el mundo como una práctica o estatus a tener, desde su acepción surgida en el año 1930 (1), nacido junto con el concepto de producto interno bruto. En este sentido, se ha considerado como una condición en la que todos los miembros de la sociedad son capaces de determinar y satisfacer sus necesidades. De igual manera, a partir del año 1986, el bienestar animal fue definido el Dr. Donald Broom, catedrático de la Universidad de Cambridge en el Reino Unido (2) y ha evolucionado como ciencia aplicada para evaluar el estado el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere (3).

Aun tomando en cuenta que el bienestar animal surgió en el ámbito de los animales de granja, se ha extendido hacia cualquier especie que esté bajo la responsabilidad humana (recreación, laboratorio, cautiverio, compañía, entre otras) (4). En ese marco, la aplicación de las buenas prácticas de bienestar se ha convertido en un tema importante para los productores de carne, leche, huevo o peces, los clientes y sobre todo para los consumidores. Cabe

mencionar que garantizar el bienestar en las unidades productivas, sigue siendo una obligación compartida entre los actores de la cadena y la mayor responsabilidad recae en la producción primaria de alimentos (5), debido a que las malas prácticas de bienestar animal a nivel de granja, transporte o previas a la matanza, están repercutiendo de manera negativa no sólo en los animales, sino en la calidad comercial y sanitaria de los productos destinados al abasto para consumo humano. Por ello, el objetivo de este documento es analizar y discutir los retos y temas controversiales relacionados con el bienestar de los animales destinados al abasto de alimentos y su repercusión en la calidad e inocuidad de los productos para consumo humano.

Metodología de revisión

Para la integración del documento se realizó la búsqueda de información en CAB Abstracts, WorldWideScience.org, Google, JCR y SCOPUS, utilizando términos clave relativos a la calidad comercial y sanitaria de los alimentos de origen animal (bienestar animal, bienestar animal asociado a carne, leche,

huevo, productos de la pesca y acuicultura, estrés, defectos pálida, suave y exudativa (PSE) u oscura, firme y seca (DFD).

Desarrollo

Los alimentos de origen animal son considerados la fuente más importante de proteína para la dieta humana (6); sin embargo, ya no es suficiente producir grandes volúmenes de alimentos observando sólo las características o cualidades organolépticas, nutricionales, comerciales o las sanitarias asociadas con la inocuidad; sino que actualmente un gran sector de los consumidores, los más exigentes e informados, reflexionan sobre el cumplimiento de los aspectos éticos relacionados con el bienestar de los animales destinados al abasto (4) y con ello, también se han agregado aquellas sobre el cuidado y respeto hacia el ambiente, con el objetivo de identificar si los alimentos producidos son amigables con el uso de los recursos del medio (7,8). Por lo tanto, el bienestar animal se ha convertido en un componente indispensable dentro del "concepto de calidad e inocuidad alimentaria general" (9) y en conjunto, todas estas características son requisito

para que el consumidor decida o rechace la compra.

Ante este panorama, se ha determinado que las malas prácticas de bienestar impactan en el detrimento de la calidad e inocuidad durante la crianza del animal y en etapas previas a la matanza como la transportación y el faenado propiamente dicho, ya que se presentan situaciones estresantes (puntos críticos de bienestar) que podrían tener efectos negativos en las características comerciales del alimento. Por ejemplo, en las unidades de producción, se puede presentar un aumento en el riesgo de transmisión de *Escherichia coli* O157 entre los bovinos de engorda por hacinamiento (10), o modificando los procesos bioquímicos, afectando la transformación del músculo en carne (11), generando defectos como carne pálida, suave y exudativa (PSE), con mayor frecuencia en carne de cerdo; u oscura, firme y seca (DFD) en el producto procedente de novillos. Dichos defectos causan pérdidas económicas por retiro de producto o por no ser funcionales y/o no generar los resultados tecnológicos durante su procesamiento en los alimentos con valor agregado (6), asimismo, reducen la aceptabilidad del

consumidor, la vida útil y el rendimiento de la carne. Estos defectos PSE o DFD se generan en una tasa que va del 10 al 30 %, pero en algunos casos aislados, puede inclusive llegar hasta el 60 %. Los factores predisponentes se relacionan con la raza, el sexo, la especie, el manejo de los animales antes y después del sacrificio. En cuanto al manejo *ante-mortem*, es un punto crítico de bienestar de los animales vivos, que se refleja en la calidad comercial de la carne. Bioquímicamente, se presenta una carne PSE cuando el valor de pH es < 6 a los 45 minutos después de la muerte. O bien, que la carne DFD (también conocido como corte oscuro del vacuno) se observa cuando el valor final de pH alcanza valores ≥ 6 entre las 12 a 48 horas *post-mortem*. Ambos defectos en la carne tienen como común denominador el estrés *ante-mortem*. Ante estrés agudo previo a la matanza, como el uso de bastón o picanas eléctricos, peleas entre animales antes del aturdimiento, golpear a los animales antes de la matanza y condiciones de hacinamiento generan carnes PSE; mientras que someter a los animales a estrés crónico o enfrentarlos a

factores estresantes a largo plazo antes de que se produzca la matanza, generará el defecto en la calidad denominado DFD. Los factores relacionados son la transportación de animales por largas distancias; periodos prolongados de ayuno (12) y hacinamiento de animales en corrales durante grandes periodos de tiempo (13). No sólo esto, ya que, además, un pobre bienestar incrementa las mermas en el producto al presentar daños visibles en la canal (hematomas, hemorragias, lesiones en la piel, salpicaduras de sangre y huesos rotos) (6), todo ello, aunado con deficientes condiciones de transportación, que implican que los animales se golpeen; además, el maltrato ejercido por el humano hacia los animales durante el arreo, el aturdimiento (14) y el propio proceso de muerte (15), propicia las consiguientes pérdidas económicas. Asimismo, tal como sucede en mamíferos (16), y aves de abasto (17), las prácticas *ante-mortem* deficientes que conllevan a situaciones estresantes también se han observado en los peces tanto de mar o de la acuicultura (18) durante la captura, transporte, aturdimiento y desangrado. Específicamente, el

transporte induce estrés en cerdos y aves de corral, como lo indican los niveles elevados de β -endorfina, corticosterona, cortisol y creatina fosfoquinasa (19) y la cascada catabólica podría tener un efecto importante en la calidad del producto, principalmente sobre sus propiedades físicas, debido a que el estrés severo en el momento de la matanza, propiamente dicho, agota el glucógeno muscular, produciendo mayor concentración de ácido láctico, con la subsecuente reducción de los valores de pH muscular e incremento en la velocidad de aparición del *rigor mortis* (18,20,21), condiciones propicias para la instauración de microbiota alterante y o patógena con el deterioro en la calidad comercial y un riesgo en la inocuidad de las carnes. Un punto importante es determinar las condiciones propicias para evitar deterioro en la calidad de la carne. En este contexto, se ha señalado en aves, por ejemplo, que el transporte de pavos durante 3 h inmediatamente previos a la matanza, no afecta negativamente la calidad de la carne; ello resultó en un pH muscular más alto, valores L^* más bajos, mayor retención de marinado y menor pérdida de cocción marinada (19). En

general, se ha dicho, que estos cambios bioquímicos asociados con ambientes estresantes impactan negativamente sobre las características tecnológicas, la calidad instrumental de la carne de animales terrestres, así como en la conservación de la calidad del pescado. Por ejemplo, en la trucha arco iris, una caída rápida del pH muscular debido al estrés puede afectar los parámetros de color (L^* más alto, ángulo de matiz, croma y puntuación más baja según la carta de color de Roche), lo que hace que la carne de pescado parezca más clara y opaca. De igual manera, se ha reportado que los peces que tradicionalmente mueren por asfixia o aquellos que son aturcidos eléctricamente se estresan más, en comparación con los peces aturcidos con puntas, golpe o refrigerados vivos (22). Por lo tanto, se han desarrollado estudios científicos para valorar si la combinación de varios métodos de aturdimiento aplicados en conjunto, podría ser una estrategia viable tanto para el bienestar animal como para mantener la calidad del producto (22). Mucho interés ha despertado la repercusión de la captura comercial de peces en el bienestar, pero sobre

todo en la calidad sanitaria y vida útil de estos productos. En la captura de los peces de mar se provocan lesiones en la piel e inclusive, llegan a las vísceras en los ejemplares que aún se encuentran vivos. Estas lesiones se han presentado con más frecuencia en la captura con redes de arrastre, redes de cerco y, redes de enmalle, en comparación con el uso de los anzuelos. Y, se ha documentado que las lesiones por presión ocurren comúnmente en peces capturados a profundidades de 25 a 30 m o más (23). No sólo ello, también por la captura comercial, comúnmente se produce la muerte agónica por asfixia de los ejemplares, debido a la alta concentración de peces en las redes de pesca que provoca una compresión que impide que los peces muevan sus branquias para respirar y esto finalmente cursa con el agotamiento de las reservas de glucógeno (23). En la red, los grandes volúmenes de captura se compactan entre sí, lo que da como resultado una alta proporción de peces magullados, aplastados que a través de la ruptura de la barrera que representa la piel, introducen flora contaminante al interior de las masas musculares, reduciendo su vida de anaquel y en el peor de los casos,

agregando flora patógena. En este sentido, la microflora de los peces tropicales a menudo lleva una carga ligeramente mayor de grampositivos y bacterias entéricas, pero por lo demás es similar a la flora de los peces de aguas templadas. Mientras que, en las zonas templadas, hay predominio de bacterias psicotrofas que reflejan temperaturas del agua de unos 10°C, mientras que los peces de los trópicos en gran parte son de tipo mesófilas, en donde la mayoría de los patógenos pueden tener un desarrollo óptimo y al estar enmascarados (24,25), comprometer la salud de los consumidores, cuando dichos productos se ingieren crudos. En lo que respecta a la leche, se ha propuesto que los datos del hato recopilados de forma rutinaria tales como el rendimiento y la producción láctea de las hembras como vacas (26) y búfalas (27), podrían usarse para estimar el bienestar del ganado lechero a nivel del hato; sin embargo, son pocos los estudios que han explorado la asociación entre el recuento de células somáticas, la grasa de la leche y el contenido de proteínas, como posibles indicadores del bienestar animal (26), aun cuando se estima que las malas prácticas de bienestar, son un factor

que favorece la presentación de enfermedades en el hato, como lo es la mastitis. Esta inflamación de la ubre es un problema que se manifiesta con altas cuentas de células somáticas, en detrimento no sólo de la salud de la ubre, uno de los principales problemas de bienestar de las vacas lecheras, sino también de la calidad organoléptica y sanitaria de la leche bronca (28,29). En otras especies productoras de leche, como las ovejas de la raza Manchega, se ha demostrado, en muestras provenientes de tanque, que el recuento elevado de células somáticas procedentes de hembras con mastitis, afectan la composición, índices de proteólisis y propiedades coagulantes de la leche, debido a que disminuye la proporción de caseína:proteína y el contenido de lactosa. De la misma manera, la proteólisis se incrementa, provocando una caída de la β -caseína y un aumento de las γ -caseínas a partir de una concentración de 500 000 células somáticas/ml. En cuanto al comportamiento de la coagulación, el tiempo de coagulación del cuajo y el tiempo de reafirmación pueden aumentar a razón de 1,000,000 a 1,500,000 células/ml de leche, lo cual impacta

en el rápido deterioro de la calidad de la leche y la incapacidad tecnológica de esta materia prima para producir queso (30). Sin embargo, en ganado bovino, el recuento de células somáticas, recuento bacteriano total, urea y proteínas han demostrado sólo unas cuantas correlaciones estadísticamente significativas y muy débiles en relación con los datos globales de bienestar de los animales de granja (26).

En cuanto al huevo, éste es otro de los productos con mayor valor nutritivo, debido a su aporte elevado de proteína y su bajo precio en relación con otras proteínas de origen animal (31). Es por ello que, el bienestar de las gallinas ponedoras es considerado dentro de un concepto global de inocuidad y calidad comercial del huevo. Al respecto, se ha demostrado que los factores estresantes pueden influir en la calidad del cascarón. Asimismo, se ha determinado que el sistema de alojamiento tiene efecto sobre algunas características de la calidad comercial del huevo, entre ellas: peso total de huevo, de la clara y de la yema; color de la yema, deformación y grosor del cascarón, índice Haugh y la gravedad específica (9). Tal es el caso del estudio realizado por Meng

et al., (2014) (32), quienes encontraron que las unidades Haugh y la altura de la albúmina de los huevos procedentes de gallinas alojadas en jaulas grandes enriquecidas y en jaulas pequeñas enriquecidas fueron significativamente más altas ($P < 0,01$), en comparación con las de huevos de gallinas albergadas en sistemas de jaula convencional (32). Cabe señalar, que en la avicultura, se han desarrollado una serie de estrategias que han evolucionado más rápidamente conforme se han obtenido resultados favorables, en comparación con los hallazgos científicos en mamíferos destinados al abasto. De esta manera, los primeros diseños de jaulas con enriquecimiento que incluían características que permitían una calidad de huevo subóptima y reportaban un mayor número de huevos rotos o sucios han ido modificándose y se han tomado medidas para proteger al huevo, como la introducción de mallas protectoras, cortinas y revestimiento completo de los nidales (9). Con ello, se evita la suciedad que puede contaminar el interior del huevo con microorganismos alterantes o bien, con patógenos que pueden

comprometer la salud de los consumidores.

Finalmente, otro punto crucial en el bienestar es la muerte de los animales. En este punto se debe garantizar la rápida pérdida de conciencia y el no sufrimiento de los animales, esto es, que no sientan dolor. En este sentido, en mamíferos, aves y peces, se han desarrollado técnicas que están incluidas en la legislación para garantizar una muerte que cumpla con estándares de bienestar aunado con la calidad de la carne (33); sin embargo, los hallazgos científicos están dirigidos a encontrar la sintiencia en otras especies. En el caso de los insectos, se han valorado diferentes estrategias, por ejemplo, para las abejas se recomienda la matanza de colonias como una herramienta sanitaria, por ejemplo, en el manejo de brotes de loque americana. En estas circunstancias se han utilizado diferentes metodologías, aunque actualmente, se debe considerar que al igual que otros vertebrados, la respuesta a eventos negativos es similar ya que las abejas son capaces de aprender asociativamente y pueden basar juicios nuevos sobre estímulos obtenidos de experiencias previas. Por ello, la aplicación de

sustancias para eliminar a las colmenas debe impedir no sólo su sufrimiento, sino garantizar la calidad sanitaria de la miel. En este contexto, se han empleado el dióxido de azufre (SO₂) que parece ser el principio activo más rápido, seguro y eficaz para llevar a cabo la eutanasia de las colonias de abejas melíferas; mientras que la gasolina sin plomo y diesel, que también matan a las abejas muy rápidamente tienen la desventaja de contaminar con sus residuos tanto la cera como la miel, lo que los hace productos no aptos para consumo humano (34). Por lo tanto, seleccionar un método humanitario aplicado a las abejas melíferas, pretende proporcionar una muerte lo más rápida posible, que conlleve, de ser viable, a la no contaminación de la miel. De ahí que se sigan desarrollando métodos de control sanitario que cumplan ambas características en momentos en los que la protección a los polinizadores es una prioridad ambiental (35,36). Con lo anteriormente descrito en los productos de origen animal, De Passillé y Rushen (10), refieren que las mejoras en el bienestar animal en los diferentes eslabones de la producción primaria, tienen el potencial de reducir los riesgos

(microbiológicos y químicos) a nivel de granja para garantizar la calidad e inocuidad alimentaria, principalmente a través de la reducción de la inmunosupresión inducida por estrés, ya que un pobre bienestar provoca una mayor frecuencia en la presentación de enfermedades, incrementando la diseminación de bacterias hacia el ambiente. Además, en cuanto a la inocuidad a mayor bienestar, mayores beneficios, y menor merma, así como una reducción en la frecuencia de presentación de enfermedades infecciosas en las unidades productivas y, por lo tanto, habrá una reducción de la diseminación de peligros biológicos (patógenos), con ello también se minimiza el uso de antibióticos y, por lo tanto, se disminuyen la contaminación de los productos con estos residuos y la resistencia a los antibióticos. Sin embargo, es necesario implementar estrategias basadas en los hallazgos científicos para sustituir las prácticas que comprometen el bienestar animal y orientar a los actores de los diferentes eslabones de la cadena de proceso promover una integración de normas de bienestar, que

complementen las acciones de calidad e inocuidad alimentaria (37).

Conclusiones

Como se ha podido observar, si bien se ha avanzado en la implementación de prácticas de bienestar animal, con la generación de indicadores para evaluar las condiciones en las que se producen los animales destinados al abasto, aun se deben desarrollar más estudios que relacionen la calidad comercial y sanitaria de los productos para consumo humano en relación con el bienestar integral de los animales, como una elemento adicional de las buenas prácticas de producción, no sólo priorizando los aspectos de salud animal.

A partir de los elementos críticos que se detectan en la cadena alimentaria, es necesario identificar los criterios para la aceptabilidad comercial y la inocuidad de los alimentos. Para ello, es necesario seguir fomentando la implementación de las buenas prácticas pecuarias; sin embargo, los hallazgos en los escasos estudios científicos que relacionen el bienestar global de los animales a lo largo de la cadena productiva y su efecto en la calidad comercial y sanitaria de los productos, muestran que aún no se cuenta con información suficiente para

establecer los indicadores o especificaciones normativas pertinentes que permitan regular las prácticas de bienestar como un indicador dentro de los estándares de calidad e inocuidad de los alimentos de origen animal destinados al consumo humano. Por ello, se hace imprescindible seguir desarrollando estudios científicos con este fin.

Referencias

1. Jacobs, G., & Šlaus, I. (2010). *Indicators of economic progress: the power of measurement and human welfare*. *Cadmus J*, 1, 53-113.
2. Broom, D. M. (1991). *Animal welfare: concepts and measurement*. *Journal of animal science*, 69(10), 4167-4175.
3. OIE. (2019). *Código sanitario para animales terrestres*. Organización Mundial de Sanidad Animal. Disponible desde Internet en: https://www.oie.int/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/?id=169&L=1&htmfile=titre_1.7.htm.
4. Broom, D. M. (2011). *A history of animal welfare science*. *Acta biotheoretica*, 59(2), 121-137.

5. Vanhonacker, F., & Verbeke, W. (2014). *Public and consumer policies for higher welfare food products: Challenges and opportunities*. Journal of agricultural and environmental ethics, 27(1), 153-171.
6. Gobena, G., & Kumsa, D. (2020). *Review on the Effect of Handling, Slaughtering Process and Transport on Welfare of Animals and Meat Quality in Ethiopia*. Anim. Vet. Sci, 8, 84.
7. Broom, D. M. (2019). *Animal welfare complementing or conflicting with other sustainability issues*. Applied Animal Behaviour Science, 219, 104829.
8. Cembalo, L., Caracciolo, F., Lombardi, A., Del Giudice, T., Grunert, K. G., & Cicia, G. (2016). *Determinants of individual attitudes toward animal welfare-friendly food products*. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 29(2), 237-254.
9. Sossidou, E. N., & Elson, H. A. (2009). *Hens' welfare to egg quality: a European perspective*. World's Poultry Science Journal, 65(4), 709-718.
10. De Passillé, A. M., & Rushen, J. (2005). *Food safety and environmental issues in animal welfare*. Revue scientifique et technique-Office international des épizooties, 24(2), 757.
11. Mouzo, D., Rodríguez-Vázquez, R., Lorenzo, J. M., Franco, D., Zapata, C., & López-Pedrouso, M. (2020). *Proteomic application in predicting food quality relating to animal welfare. A review*. Trends in Food Science & Technology, 99, 520-530.
12. Roldan-Santiago, P., Mota-Rojas, D., Guerreo-Legarreta, I., Mora-Medina, P., Borderas-Tordesillas, F., Alarcon-Rojo, A. D., ... & Trujillo-Ortega, M. E. (2013). *Animal welfare of barrows with different antemortem lairage times without food*. Veterinarni Medicina, 58(6).
13. Adzitey, F., & Nurul, H. (2011). *Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences-a mini review*. International food research journal, 18(1).
14. Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Strappini, A., Orihuela, A., Ghezzi, M. D., Hernández-Ávalos, I., ... & Whittaker, A. L. (2021). *Pain at the Slaughterhouse in Ruminants with*

- a Focus on the Neurobiology of Sensitisation. *Animals*, 11(4), 1085.
15. Mota-Rojas, D., Ghezzi, M. D., Napolitano, F., Rosmini, M., Guerrero-Legarreta, I., Martínez-Burnes, J., ... & Hernández-Ávalos, I. (2021). *Quality of death in the river buffalo (Bubalus bubalis)*. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 9(2112), 1-12.
 16. Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Roldan-Santiago, P., Alonso-Spilsbury, M., Flores-Peinado, S., Ramírez-Necoechea, R., ... & Trujillo-Ortega, M. E. (2012). *Effects of long distance transportation and CO₂ stunning on critical blood values in pigs*. *Meat Science*, 90(4), 893-898
 17. Roldan-Santiago P, Gonzalez-Lozano M, Flores-Peinado SC, Camacho-Morfin D, Concepcion-Mendez M, Morfin-Loyden L, Mora-Medina P, Ramirez-Necoechea R, Cardona AL, Mota-Rojas D (2011): *Physiological response and welfare of ducks during slaughter*. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 6, 1256–1263
 18. Roth, B., Grimsbø, E., Slinde, E., Foss, A., Stien, L. H., & Nortvedt, R. (2012). *Crowding, pumping and stunning of Atlantic salmon, the subsequent effect on pH and rigor mortis*. *Aquaculture*, 326, 178-180.
 19. Owens, C. M., & Sams, A. R. (2000). *The influence of transportation on turkey meat quality*. *Poultry Science*, 79(8), 1204-1207.
 20. Roth, B., Moeller, D., Veland, J. O., Imsland, A., & Slinde, E. (2002). *The effect of stunning methods on rigor mortis and texture properties of Atlantic salmon (Salmo salar)*. *Journal of Food Science*, 67(4), 1462-1466.
 21. Roth, B., Slinde, E., & Arildsen, J. (2006). *Pre or post mortem muscle activity in Atlantic salmon (Salmo salar). The effect on rigor mortis and the physical properties of flesh*. *Aquaculture*, 257(1-4), 504-510.
 22. Poli, B. M., Parisi, G., Scappini, F., & Zampacavallo, G. (2005). *Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management*. *Aquaculture International*, 13(1), 29-49.
 23. Veldhuizen, L. J. L., Berentsen, P. B. M., De Boer, I. J. M., Van De Vis, J. W., & Bokkers, E. A. M. (2018). *Fish welfare in capture fisheries: A review of injuries and*

- mortality. *Fisheries research*, 204, 41-48.
24. Amos, B., Sector, F., Einarsson, H., & Eythorsdottir, A. (2007). *Analysis of quality deterioration at critical steps/points in fish handling in Uganda and Iceland and suggestions for improvement*. United Nations University, Uganda, 45.
25. Rottmann, R. W., Francis-Floyd, R., & Durborow, R. (1992). *The role of stress in fish disease* (p. 474). Stoneville, MS: Southern Regional Aquaculture Center.
26. Ginestreti, J., Strano, R. M., Lorenzi, V., Fusi, F., Angelucci, A., Ferrara, G., ... & Bertocchi, L. (2020). *Bulk tank milk quality data is unlikely to give useful information about dairy cow welfare at herd level*. *Journal of Dairy Research*, 87(2), 208-211.
27. Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., & Napolitano, F. (2019). *Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking*. CABI Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 14, 1-9.
28. Forsbäck, L., Lindmark-Månsson, H., Andrén, A., & Svennersten-Sjaunja, K. (2010). *Evaluation of quality changes in udder quarter milk from cows with low-to-moderate somatic cell counts*. *Animal*, 4(4), 617-626. doi:10.1017/S1751731109991467
29. Wickström, E., Persson-Waller, K., Lindmark-Manson, H., Östensson, K., & Sternesjö, Å. (2009). *Relationship between somatic cell count, polymorphonuclear leucocyte count and quality parameters in bovine bulk tank milk*. *Journal of Dairy Research*, 76(2), 195-201. doi:10.1017/S0022029909003926
30. Martí-De Olives, AM.; Navarro Rios, MJ.; Rubert Aleman, J.; Fernández Martínez, N.; Molina Pons, MP. (2015). *Composition, proteolysis indices and coagulating properties of ewe milk as affected by bulk tank somatic cell count*. *Journal of Dairy Research*. 82(3):344-349. doi:10.1017/S0022029915000394
31. Codony, R. (2002). *Composición y valor nutritivo del huevo*. Consejo asesor del instituto de estudios del huevo, 155.
32. Meng, F., Chen, D., Li, X., Li, J., & Bao, J. (2014). *Effects of large or*

- small furnished cages on performance, welfare and egg quality of laying hens.* *Animal Production Science*, 55(6), 793-798.
33. Mota-Rojas, D., Bolanos-Lopez, D., Concepcion-Mendez, M., Ramirez-Telles, J., Roldan-Santiago, P., Flores-Peinado, S., & Mora-Medina, P. (2012). *Stunning swine with CO₂ gas: controversies related to animal welfare.* *International Journal of Pharmacology*, 8(3), 141-151.
34. Mutinelli, F. (2021). *Euthanasia and welfare of managed honey bee colonies.* *Journal of Apicultural Research*, 1-9.
35. Botías, C., & Sánchez-Bayo, F. (2018). *Papel de los plaguicidas en la pérdida de polinizadores.* *Ecosistemas*, 27(2), 34-41.
36. Freitas, B. M., & Pinheiro, J. N. (2010). *Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros.* *Oecologia australis*, 14(1), 282-298.
37. Broom, D. M. (2010). *Animal welfare: an aspect of care, sustainability, and food quality required by the public.* *Journal of veterinary medical education*, 37(1), 83-88.

Hernioplastia umbilical en bovinos mediante el uso de material protésico (malla de polipropileno)

Alejandro Bailón Blanco

Correo electrónico:

abailon@unam.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
25 de abril de 2023**

RESUMEN

La utilización de malla de polipropileno de uso humano para la reducción de hernias umbilicales en bovinos generalmente es una práctica reservada para animales con alto valor y potencial genético en la producción de carne o leche.

Para el presente trabajo se utilizó malla de polipropileno de grado humano en becerros cuya amplitud de la hernia no permitiera el afrontamiento de los bordes del anillo herniario, se utilizó catgut cromado del #2 para fijar en principio en cuatro puntos cardinales y posteriormente fijar la malla a la pared muscular con puntos simples alrededor del anillo herniario.

El uso de malla de polipropileno para la corrección de hernias umbilicales en bovinos cuyo anillo herniario sea difícil de afrontar debido a su amplitud o contaminación, es efectivo y seguro debido a que no se observaron recidivas y existieron buenos resultados a corto plazo.

Palabras clave: Hernia umbilical, malla de polipropileno, bovino, cirugía, anillo herniario.

Introducción

Una hernia umbilical es una protrusión del contenido de la cavidad abdominal por un punto débil del anillo umbilical debido a un defecto en el cierre de la pared abdominal.

Generalmente se identifican y diagnostican en los becerros recién nacidos, tienen un índice de heredabilidad del 1 al 3%. Su incidencia en los centros de producción intensiva puede alcanzar hasta un 5 u 8%.

Las hernias umbilicales “congénitas”, es decir presentes al nacimiento, se manifiestan en las primeras semanas de vida. Una mayor frecuencia en la consanguinidad familiar en la descendencia de ciertos toros permite concluir una predisposición genética, probablemente poligénica (con la participación de influencias ambientales modulantes) (1).

Entre las causas de hernias umbilicales adquiridas pueden citarse: prácticas inadecuadas utilizadas durante el parto asistido, especialmente si hay necesidad de realizar maniobras obstétricas y posteriormente ejercer tracción para ayudar a la cría a salir del canal de parto; esta maniobra puede ser excesiva cuando la cría no está bien posicionada, es

demasiado grande o la madre presenta estrechez pélvica y no existe dilatación adecuada de las estructuras asociadas; estas manipulaciones ejercidas sobre el becerro van a provocar la separación y debilitamiento de los músculos abdominales, ocasionando la presentación de la hernia, otras causas pueden ser la debilidad o lisis del anillo en el curso de las onfalitis, la succión del ombligo entre becerros, la distensión de la pared abdominal a causa de presión interna (parto distócico, sobrealimentación, timpanismo), lesiones externas, cuerpos extraños migrantes salidos del abomaso o de los preestómagos y úlceras abomasales.

El diagnóstico presuntivo se realiza a la inspección y se confirma por la palpación del anillo herniario. Cuando a la palpación de esta estructura, es posible introducir más de cuatro dedos, la reducción de la hernia se complica y es necesario utilizar una prótesis para reducir la hernia adecuadamente. En el pasado, se ha utilizado pericardio de bovino, actualmente existen mallas de material sintético más eficientes y fáciles de conseguir (2).

La utilización de malla de polipropileno de uso humano para la reducción de

hernias umbilicales en bovinos generalmente es una práctica reservada para animales con alto potencial genético para la producción de leche. Sin embargo, es importante considerar que un porcentaje de las hernias umbilicales en bovinos tienen un importante componente hereditario.

Material y métodos

Es indispensable un ayuno preoperatorio de 48 horas de alimento y 24 de agua para evitar la excesiva distensión abdominal. Asimismo, deberá restringirse la alimentación durante el posoperatorio con la misma finalidad (4).

En caso de no dietar y debido a lo prolongado del procedimiento quirúrgico, aunado a la posición, se puede correr el riesgo de timpanismo o que el animal regurgite y bronco aspire contenido ruminal, aunado a tener que hacer mayor uso de material protésico debido a la distensión de las vísceras.

Valoración de la Hernia

El procedimiento de reducción inicia con la valoración de la hernia, mediante la palpación del anillo herniario con la finalidad de delimitar el tamaño de este y determinar que estructuras anatómicas pudieran estar involucradas (Figura 1).



Figura 1. Palpación y valoración de la hernia umbilical (Dirksen *et al.*, 2005).

Procedimiento quirúrgico

Se procede a la tranquilización de la becerro con xilacina al 2%, a una dosis total de 0.7 ml, utilizando la vena caudal

(5, 6), con la finalidad de posicionarlo con facilidad en decúbito dorsal, actitud que mantendrá durante toda la intervención (Figura 2).



Figura 2. Tranquilización en vena coccígea con xilacina al 2%.

Una vez postrado se le sujetan tanto miembros anteriores como miembros posteriores con cuerdas, con el propósito de reducir el riesgo de un movimiento

brusco por parte del animal. Se coloca a la becerro sobre una superficie limpia y mullida (colchón plástico) (Figura 3).



Figura 3. Sujeción en supino de la becerro.

Una vez que la becerro ya se encuentra en plano quirúrgico y en posición de decúbito dorsal, se procede a lavar enérgicamente con agua y jabón y realizar

la tricotomía del área en donde se va a realizar la intervención quirúrgica (Figura 4).



Figura 4. Lavado y tricotomía del área quirúrgica.

Una vez más se realiza la palpación del anillo herniario para determinar sobre todo si existe alguna estructura involucrada (asas intestinales, rumen, abomaso, epiplón).

Se realiza la analgesia local con Lidocaína al 2% con epinefrina en el área a incidir (6). A continuación, se lleva a cabo una antisepsia enérgica del campo quirúrgico con clorhexidina (Figura 5).



Figura 5. Analgesia local en el sitio de incisión.

Un ayudante sujeta la piel sobre el anillo herniario con pinzas de Allis para mostrar al cirujano el área a incidir. Se realiza una incisión en piel en forma elíptica alrededor del anillo herniario,

procediendo a diseccionar la piel y tejido subcutáneo utilizando el bisturí y pinzas de disección, con el propósito de retirarlos (Figura 6).



Figura 6. Sujeción del saco herniario con pinzas de Allis.

A continuación, se realiza una pequeña incisión para introducir uno o dos dedos con la finalidad de constatar si existe alguna estructura adherida al saco herniario (Figura 7), y posteriormente introducir unas tijeras rectas o curvas y comenzar a retirar el tejido involucrado

en el anillo herniario, cuidando al mismo tiempo que no exista alguna víscera comprometida junto con este. En caso de existir una víscera adherida al anillo, se procederá a liberarla con extremo cuidado.



Figura 7. Introducción de un dedo bajo el saco herniario.

Posteriormente se reavivan los bordes del anillo herniario haciendo un corte extendiéndose de 1-1.5 cm. alrededor del anillo. Es importante aplicar una solución de suero salino fisiológico con

antibiótico frecuentemente durante la intervención, con el fin de lavar y mantener hidratados los tejidos de la región (Figura 8).



Figura 8. Reavivación de los bordes del anillo herniario.

Como siguiente paso se sitúa la malla de polipropileno sobre el área quirúrgica para determinar el tamaño que se utilizará para reducir la hernia (Figura 9). Se corta la malla abarcando la herida completamente y sobrepasando sus bordes 2 cm, se separa la piel y el músculo contiguos al anillo herniario,

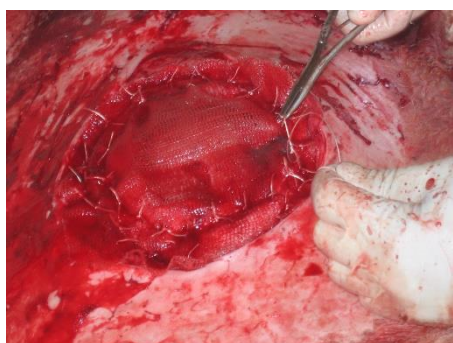
introduciendo la malla entre estos dos tejidos. A continuación, se fija la malla con Catgut crómico o Braunamid de calibre #2 o #3, iniciando la fijación con cuatro puntos separados ubicados en los cuatro puntos cardinales, cada uno de ellos.



Figura 9. Colocación de la malla de polipropileno en el área quirúrgica.

Una vez fijada la malla, se procede a colocar la primera línea de puntos separados, involucrando el borde de la herida y 1 cm de tejido abdominal, hasta suturar toda la herida. Se realiza a

continuación una segunda línea utilizando el mismo patrón de sutura (puntos separados simples) a una distancia de 1-1.5 cm con respecto a la primera línea de sutura (Figuras 10 y 11).



Figuras 10 y 11. Sutura de la malla de polipropileno al anillo herniario.

Posteriormente se vuelve a humectar con la solución antibiótica y se sutura la piel y tejido subcutáneo utilizando Nylon,

calibre 0.7 mm., con un patrón de sutura de puntos en “U” (Figura 12).



Figura 12. Cierre de la piel con puntos en “U”.

Como último paso se procede a limpiar el área quirúrgica, aplicar un antiséptico y cicatrizante sobre la herida.

Cuidados postoperatorios

Alojar a la becerro en un corral limpio con cama abundante. Ofrecer forraje verde y agua *ad libitum*. Aplicar diariamente un

antiséptico-cicatrizante sobre la herida. Administrar antibióticos como Penicilina Benzatínica a una dosis de 22,000 UI/Kg PV durante 5 días cada 24 horas y un analgésico no esterooidal (AINES) durante 3 días como Meglumine de Flunixine a una dosis de 1.1 mg/Kg PV cada 24 horas. Se recomienda retirar los puntos a los 15 días.

Conclusiones

No se observó rechazo o inflamación severa del área quirúrgica, lo cual podría sospechar de rechazo del material protésico; los bovinos operados mediante esta técnica y con este material, han evolucionado satisfactoriamente después de la aplicación de la malla de polipropileno, por lo que se considera una excelente alternativa como resolución de aquellos casos en los cuales los bordes del anillo herniario sean tan amplios que sus bordes no puedan afrontarse de manera normal.

Sería recomendable dar seguimiento a todos los animales que se les ha aplicado esta malla, con la finalidad de poder registrar como se llevó a cabo el proceso de cicatrización.

Al ser un material asequible por el costo y su obtención, es una excelente opción para ser usada y evitar que, al presentarse

este tipo de casos clínicos, los Médicos Veterinarios envíen a rastro los animales con esta patología.

Referencias

1. Dirksen G., Gründer H., Stöber M. (2005). *Medicina Interna y Cirugía del Bovino*. (2005). Volumen 1 y 2. 4^a Edición. Buenos Aires, Argentina. Editorial Inter-Médica. Buenos Aires, Argentina.
2. Bradford P. Smith. (2010). *Large Animal Internal Medicine*. Fourth Edition. Elsevier. Barcelona, España.
3. Ordoñez M. R. (2014). *Atlas de Técnicas Quirúrgicas en Bovinos - Teoría y Práctica*. Segunda Edición. Editorial Trillas. México.
4. Ordoñez M. R. (2012). *Cirugía de Campo en Animales de Abasto*. Primera Edición. Editorial Trillas. México.
5. Clifford R. Swanson. (1996). *The Veterinary Clinics of North America – Food Animal Practice – Anesthesia Update*. Volume 12. Number 3. Edit W.B. Saunders Company. United States of America.
6. HuiChu Lin., Walz P. (2014). *Farm Animal Anesthesia*. First Edition. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.

**Relevancia de la
función del médico
veterinario zootecnista
autorizado en empresas
industriales y
comerciales**

Antonio Ordóñez Mancera

Correo electrónico:
mvzaom@gmail.com

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne del 25 de
abril de 2023**

**para ingreso como
Académico Honorario**

Palabras clave: Industria farmacéutica veterinaria, médico responsable autorizado, planes de estudio.

Honorables médicos veterinarios zootecnistas, académicos y académicas.

Es para su servidor un gran honor que me permitan dirigir a ustedes, en el marco de este recinto, donde se congregan profesionistas destacados en múltiples ramas de la medicina veterinaria y zootecnia, el siguiente trabajo.

Me permitiré exponer a ustedes de forma breve y concreta un aspecto relevante que considero valioso en el desempeño de nuestra profesión, en relación con las diversas funciones que realiza el MVZ en el ámbito de la industria farmacéutica veterinaria y en la industria de alimentos para animales, sobre todo para el abasto en relación con la alimentación y la salud animal y por ende en la salud humana.

Esta relación tiene su origen en la regulación zoosanitaria vigente que emana de las autoridades gubernamentales a través de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y del organismo denominado Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

En el desempeño de los médicos veterinarios en la industria

farmacéutica veterinaria, comercializadoras de medicamentos y en la investigación veterinaria, el MVZ puede actuar como propietario, directivo, gerente de algún departamento en las empresas, o bien, como asesor técnico de procesos, en aspectos de importación y exportación, ventas y mercadotecnia, en farmacias veterinarias, en explotaciones pecuarias diversas.

En caso de que dicho profesionista optará por prestar sus servicios como MVZ responsable autorizado de empresas, deberá estar perfectamente capacitado y presentar un examen con el fin de obtener la autorización de la SADER para asesorar y capacitar a las empresas de una manera eficiente, ética y honesta para el cabal cumplimiento de la normatividad que emana de dichas autoridades.

En este sentido es deseable que exista una relación conjunta entre autoridades, Federación de Colegios y Asociaciones Civiles, para que el aspirante se prepare como MVZ responsable autorizado.

La industria farmacéutica veterinaria en general, reviste una importancia vital para la economía del país, para la salud animal, para la ganadería y

por ende para toda la población que se nutre de proteína animal fomentando así la inocuidad alimenticia.

También tiene importancia el segmento de los animales de compañía, ya que se requiere de médicos responsables autorizados en clínicas veterinarias, consultorios, farmacias veterinarias y forrajeras donde se emplean y comercian medicamentos veterinarios.

Según los datos obtenidos de la Industria Farmacéutica Veterinaria (INFARVET) que es una división de la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (CANIFARMA), reporta 25 laboratorios afiliados. algunos de ellos con líneas de producción tanto humana como veterinaria (1).

En el caso de los laboratorios nacionales agrupados en la Asociación Nacional de Laboratorios Veterinarios, A.C. (ANALAV) integrada a la CANACINTRA, el número de afiliados es de 18 (2).

Es importante señalar que actualmente ya no es obligatorio pertenecer a la cámara correspondiente de acuerdo con el giro mercantil que desempeñen.

Ante esta situación de la no obligatoriedad de la ley, existen

muchas empresas que no están localizables y menos reguladas y por ende incumplen con la normatividad careciendo de médicos responsables autorizados, perdiéndose así fuentes de empleo de nuestra profesión.

Los aspirantes para actuar como médicos responsables autorizados en cualquiera de las áreas deberán tener una capacitación previa en el área que pretendan desempeñarse, presentar un examen y aprobarlo ante la autoridad correspondiente, cubrir los derechos y contar con título y cédula profesional.

Para su previa capacitación existen varias organizaciones que imparten y promueven cursos específicos.

Algunas de ellas son la Federación de Colegios y Asociaciones de Médicos Veterinarios Zootechnistas de México A.C. (FedMVZ) que imparten la capacitación en forma virtual, otra es la Asociación Nacional de MVZ al Servicio de la Salud Animal, A.C. y por último la propia autoridad a través de SENASICA.

Una vez que el MVZ ha obtenido su autorización correspondiente deberá estar atento para buscar o que le llamen de alguna empresa que pueda requerir sus servicios, habiendo concertado una negociación previa y

amplia por ambas partes para desempeñar dicha responsiva.

Resulta de vital importancia que el MVZ responsable autorizado esté capacitado en cuanto a las normas oficiales que aplican para su desempeño, aceptando con ello el cumplimiento e implementación de la normatividad aplicable en la empresa, como la aceptación de la representación legal de la misma.

A continuación, se enlistan las Normas Oficiales Mexicanas aplicables y vigentes para el cabal cumplimiento de las empresas:

- NOM-012-zoo-1993, especificaciones para la regulación de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos (3).
- NOM-022-zoo-1995, características y especificaciones zoosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de establecimientos que comercializan productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo de éstos (4).
- NOM-026-zoo-1994, características y especificaciones zoosanitarias para las

instalaciones, equipo y operación de establecimientos que fabriquen productos químicos, farmacéuticos y biológicos para uso en animales (5).

- NOM-059-zoo-1997, salud animal. Especificaciones de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. Manejo técnico del material publicitario (6).
- PROY-NMX-EC-17025-IMNC-2018. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Esta norma aplica para la autorización de los laboratorios de control de calidad internos de la empresa (7).
- Manual de buenas prácticas de manufactura para productos químico, farmacéuticos y biológicos para animales (8).

La SADER con apoyo de organismos acreditados como unidades de verificación, ha expedido guías que facilitan el cumplimiento de la normatividad aplicable en cada empresa, situación que debe cumplirse para el dictamen anual (productos veterinarios, instalaciones de la empresa y el

manual de buenas prácticas de manufactura).

Se tiene en proyecto de aprobación la modificación a la norma oficial mexicana NOM-012-zoo-1993, especificaciones para la regulación de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por estos.

A continuación, se transcribe el formato de requisitos para solicitar la autorización de personas físicas como responsable autorizado (9).

- Cédula Profesional
- Constancia de capacitación
- Declaración bajo protesta de decir verdad de que no ha sido sancionado por la SADER
- Carta propuesta del establecimiento firmada por el representante legal
- Comprobante de pago de derechos productos o aprovechamientos
- Aprobar el examen de conocimientos
- Clave Única de Registro de Población (CURP)

En los casos de solicitar la autorización como médicos veterinarios responsables para establecimientos TIF destinados al

sacrificio y procesamiento de bienes de origen animal, deberán de ingresar la solicitud únicamente en la ventanilla denominada Dirección general de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera. Información que deben anexar: La petición que se formula, los hechos y razones que dan motivos a la petición (en la cual especifica el área en la que se pretenda autorizar), el órgano administrativo a que se dirigen, y el lugar y fecha de su emisión. El escrito deberá estar firmado por el interesado, a menos que no pueda firmar, caso en el cual, se imprimirá su huella digital.

El trámite se puede realizar de forma presencial en las ventanillas de las Representaciones Estatales Fitozoosanitarias y de Inocuidad Agropecuaria y Acuícola en las Delegaciones Estatales de la SAGARPA.

Así mismo, la Ley Federal de Sanidad Animal y su Reglamento para el ejercicio de los médicos responsables autorizados, señalan las principales responsabilidades y acciones aplicables que deberán cumplir en las empresas.

A continuación, se transcriben:

- Asesoría y capacitación de las disposiciones aplicables.

- Prestar los servicios veterinarios que se regulan en esta ley, su reglamento y NOM´S.
- Prestar servicios de emisión de documentos.
- Fungir como responsable ante la secretaría.
- Ser responsable del cumplimiento de cada disposición de sanidad animal por el tipo de establecimiento que le sean aplicables.
- Informar en caso de enfermedad exótica de notificación obligatoria.
- Informar cuando se detecte contaminación en bienes de origen animal.
- Estar actualizado y aprobar el examen.
- Avisar a la Secretaría de productos sin registro.
- Avisar sobre productos y residuos tóxicos, microbiológicos o contaminantes.
- Servir como Órgano de Coadyuvancia de la Secretaría.
- Coadyuvar con la Secretaría como persona física en materia de sanidad animal.
- Informar periódicamente sobre los servicios veterinarios que se presten.

- Auxiliar a la Secretaría en caso de emergencias de Salud animal o de investigación epidemiológica.

- Denunciar hechos, actos, omisiones que la Salud Animal sea afectada o que cause.

Resulta muy importante y necesario que las autoridades zoonosanitarias desde tiempo atrás hayan implementado y estén actualizando dicha normatividad para las diversas autorizaciones a qué pueden aspirar los MVZ y con ello encuentren una fuente de trabajo más de ingresos en su economía.

Habiendo expuesto algunos comentarios en base a mi experiencia personal de años atrás en el aspecto de haber sido responsable en empresas y conociendo el desempeño actual de los MVZ autorizados, me permito hacer una sugerencia a las autoridades de la FMVZ a través de esta honorable Academia Veterinaria Mexicana, a fin de que puedan influir ante la comisión encargada del diseño de los planes de estudio que se revisan periódicamente en la FMVZ-UNAM y se incluya esta información de vital importancia para el ejercicio de nuestra profesión.

Conclusión

con la colaboración de SENASICA, de la FedMVZ, la Asociación Nacional de MVZ al Servicio de la Salud Animal, A.C. y el Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal (CONASA), será deseable que la FMVZ-UNAM incluyera, en el plan de estudios, una materia optativa o bien, un diplomado sobre las diversas responsabilidades zoonosanitarias para un MVZ.

Agradezco infinitamente a la Academia Veterinaria Mexicana la invitación y oportunidad de participar como aspirante y haberme permitido exponer en forma breve esta actividad tan importante de los MVZ encargados de la salud animal.

Referencias

1. Industria Farmacéutica Veterinaria, 2017. Disponible en: <https://infarvet.org.mx/>. [Consultado 01 -03- 2023].
2. Asociación Nacional De Laboratorios Veterinarios, A.C. Disponible en: <https://www.analav.com.mx/anala> v. [Consultado 01 -03- 2023].
3. NOM-012-zoo-1993, especificaciones para la regulación de productos químicos,

farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos.

4. NOM-022-zoo-1995, características y especificaciones zoonosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de establecimientos que comercializan productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo de éstos.

5. NOM-026-zoo-1994, características y especificaciones zoonosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de establecimientos que fabriquen productos químicos, farmacéuticos y biológicos para uso en animales.

6. NOM-059-zoo-1997, salud animal. Especificaciones de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. Manejo técnico del material publicitario.

7. PROY-NMX-EC-17025-IMNC-2018. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Esta norma aplica para la autorización de los laboratorios de control de calidad internos de la empresa.

8. Manual de buenas prácticas de manufactura para productos químicos, farmacéuticos y biológicos para animales.

9. Gobierno de México, 2023. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Autorización de personas físicas como Responsable Autorizado. Disponible en: <https://www.gob.mx/tramites/ficha/autorizacion-de-personas-fisicas-como-responsable-autorizado/SENASICA3453> [Consultado 01-03-2023].

Evolución de la investigación sobre el Síndrome ascítico en el pollo de engorda

**José Arce Menocal*
Carlos López Coello
Ernesto Ávila González**

Correo electrónico:
josearce_55@yahoo.com.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
27 de junio de 2023**

Palabras clave: Investigación, síndrome ascítico, pollo de engorda.

RESUMEN

El Síndrome ascítico (SA) corresponde a una alteración metabólica que afecta primordialmente a los pollos de engorda, a principios de la década de los 70's se reportan los primeros casos en México, desde sus inicios ha sido una de las principales causas de impacto económico principalmente por la mortalidad, sumado a las pérdidas productivas por las medidas preventivas con la intención de disminuir la mortalidad. A mediados de los años 70's se integró un grupo de investigadores mexicanos que iniciaron de manera formal y coordinada el estudio del SA en una línea de investigación que persiste después de 45 años y que ha contribuido de tal manera que las principales aportaciones generadas sean utilizadas en la avicultura comercial latinoamericana, se presentan los estudios más relevantes a partir de una selección de 24 artículos indizados y 39 tesis en que participaron este grupo pionero de investigadores.

Introducción

El Síndrome ascítico (SA) actualmente representa en México una de las principales causas de mortalidad en pollos de engorda mayores de 21 días de edad que se incrementa conforme avanza la edad, lo que representa importantes pérdidas económicas por la inversión ya realizado en las aves. Este síndrome no está asociado directamente a un proceso infeccioso; es una alteración metabólica que afecta en mayor grado a los pollos de engorda machos, teniendo un incremento en la época de invierno cuando son alojados en un entorno que carece de la infraestructura adecuada y con la capacidad para mantener las condiciones adecuadas de temperatura de la cama y ambiental, así como la calidad del aire, siendo mayor la incidencia si se suma el alojamiento en elevada altitud sobre el nivel del mar y alteraciones del sistema respiratorio. El SA prácticamente no se presenta en pollitas de reemplazo, gallinas o reproductoras pesadas y ligeras, atribuido en gran medida a que el crecimiento de las pollitas es muy lento y en el caso de reproductoras pesadas porque se aplican severos controles para mantener un peso corporal de acuerdo con los estándares establecidos

semanalmente para cada estirpe, evitando un sobrepeso.

El Dr. Jesús Estudillo López fue académico fundador y un miembro muy destacado de la Academia Veterinaria Mexicana (AVM), siendo uno de los primeros con conocimientos sobre el SA debido a sus constantes viajes a Bolivia donde se familiarizó con esta situación. En 1978 se presentó en su granja de reproductoras pesadas una mortalidad alta por el SA en los machos durante la crianza, como medida de control inició el programa de alimentación conocido como skyp a day a una edad más temprana, obteniendo una exitosa respuesta y solución al problema, sugiriendo su aplicación en pollos de engorda; en aquella época, esto parecía una medida inadmisibles; pero el tiempo le dio la razón (1)

Los primeros casos registrados en el entonces Departamento de Patología Aviar de la FMVZ UNAM ocurrieron en 1976 y fueron remitidos principalmente por el Dr. Estudillo, el diagnóstico reportado se refería a una hepatitis de posible origen tóxico. Es conveniente señalar que la avicultura en la parte central de México estaba integrada por una gran cantidad de pequeños productores, incluso en áreas como Villa del carbón (ubicada a 2,600 msnm), donde la empresa Avigrupo,

propiedad del Lic. Justo López (expresidente de la Unión Nacional de Avicultores y persona clave en la evolución de avicultor a empresario avícola), era asesorada por el Dr. Alejandro Cuadra Germán (miembro de la AVM), donde contaban con una granja experimental, ahí se iniciaron los primeros trabajos científicos sobre el SA, con el gran apoyo de un grupo consolidado de veterinarios que se reunían mensualmente para conocer y trabajar en los temas de relevancia en la avicultura. En ese grupo participaban el Dr. Ernesto Ávila González (expresidente de la AVM), Carlos López Coello (miembro de la AVM), José Ortega Sánchez de Tagle (académico de la FES Cuautitlán), José Arce Menocal (académico de la UMSNH) y el CP Víctor Ruíz Esparza (director de la revista Avirama).

A pesar de ser un diagnóstico muy sencillo, en México y Sudamérica no se contaba con mucha información, la primera encuesta publicada en 1985 (2) fue desarrollada por el Dr. José Arce Menocal en el Valle de México y la siguiente a nivel global por el Dr. Colussi de Argentina, reportando en ambos casos una incidencia elevada (37%), en granjas localizadas arriba de los 1,500 msnm; estas encuestas tomaron en consideración otros

elementos como factores ambientales, nutricionales, genéticos y de manejo, dejando ver que la incidencia y edad de presentación del SA estaba relacionada con las interacciones de los factores que tuvieron en consideración e iniciaron los trabajos y las publicaciones bajo una metodología científica.

Conforme transcurría el tiempo se fueron sumando más factores relacionados con el alimento como el exceso de sodio, presencia de micotoxinas, semillas contaminantes como la *Crotalaria spectabilis*, alimento en presentación de pellet, programas largos de iluminación entre otros; y poca atención a las condiciones ambientales en las granjas como la temperatura ambiental, calidad del aire, procesos de incubación y el costo: beneficio de las medidas de control realizadas como paliativos.

Destacados miembros de la AVM realizaron estudios relacionados con la fisiopatología del SA, entre ellos el Dr. Leopoldo Paash Martínez (expresidente de la AVM) y el Dr. Guillermo Téllez Isaías. El Colegio de Postgraduados de Chapingo desempeñó también un papel importante con la participación del Dr. Manuel Cuca García (Miembro de la AVM), el Dr. Ernesto Ávila González (expresidente de la AVM), y el Ing. Arturo Pró Martínez; quienes tuvieron

el acierto de invitar a los doctores Robert Wideman (fisiólogo aviar, Auburn University) y Ted Odom (fisiólogo ambiental, Texas A&M University), quienes a pesar de no tener la experiencia en los Estados Unidos de Norteamérica con el SA, se integraron al grupo pionero de investigación mexicano y aportaron importantes bases, posteriormente se incorporó el Dr. Billy Hargis (Medicina veterinaria, Texas A&M University), con la participación fundamental en la integración y desarrollo de las actividades desarrolladas en gran medida por el Dr. Arce Menocal, en la granja experimental de lo que fue el Instituto Nacional de Investigación Pecuaria (INIP), en Morelia, Michoacán, México.

En Bolivia el Dr. Juan Renjifo (egresado del posgrado de la FMVZ-UNAM), señaló la importancia de la temperatura ambiental, el Dr. Aureliano Hernández de la Universidad Nacional de Colombia, describió el proceso fisiopatológico, el Dr. Ploog del Perú, trabajó en la zona de White Mountain la relevancia de la altitud msnm, el Dr. Villacres en el Ecuador estudio la crianza de pollitos y el Dr. Agudelo de Colombia los “paliativos” para prevenir el SA.

El grupo de investigadores mexicanos tuvo la fortuna desde su inicio de contar con la enseñanza y apoyo de sus mentores y de un liderazgo; ha formado recursos humanos, la transferencia de tecnología ha sido aceptada y adoptada por la industria, se ha tenido una amplia difusión del conocimiento tanto oral como escrita en medios de difusión dirigido a productores como también en las revistas indizadas con alto impacto; se deja un legado, sobresaliendo la importancia de trabajar en equipo y en temas de interés para una industria fundamental en la seguridad alimentaria de México; por ello, no es de extrañar que se consideren expertos y líderes en el conocimiento del SA, particularmente en la implementación de los programas de modulación de la alimentación, respuesta a condiciones ambientales y aunque en menor grado, pero no de menor importancia lo relacionado con reproductoras e incubación (3,4).

Desarrollo de trabajos relevantes

Ante el incremento en la incidencia del SA y la férrea creencia de estar relacionado a la calidad del alimento en conjunto con la rápida velocidad de crecimiento atribuido a la selección genética, se generalizó con poco sustento la práctica de “restricción

alimenticia” hoy denominada “modulación de alimento” en pollos de engorda bajo distintos programas, siendo las más comunes en aquella época el proporcionar alrededor de la cuarta semana de edad durante 3 días únicamente maíz quebrado para “desintoxicar” a las aves, continuando con programas muy severos de restricción del consumo de alimento, efectivamente disminuía la mortalidad, pero también la ganancia de peso y un incremento de la conversión alimentaria en conjunto con la duración de los ciclos de producción, aspectos que generalmente no eran evaluados económicamente (5,6,7); los pollos se comercializaban a los 56 días de edad con un peso vivo de 2 kg, obteniendo una conversión alimenticia superior a un índice de 2.5.

La práctica de la modulación de alimento para el control del SA ha sido tema de interés para la industria avícola; en el año 1992 la revista *Journal of applied poultry research* inició sus actividades de publicación dando preferencia en el número 1 página 1 a un artículo sobre programas de restricción de alimento para el control del SA (8). A partir de los primeros estudios sobre el SA, el grupo que inició las investigaciones sobre el SA ha generado formalmente 24

artículos indizados y 39 tesis, el número de conferencias es cercano a 150 en 16 países; independientemente de la gran cantidad de ensayos desarrollados bajo condiciones de producción intensiva, los cuales por sus características de diseño o por el criterio de confidencialidad no fueron de carácter público en documentos arbitrados. A continuación, se presentan aquellos estudios que de alguna manera tuvieron en su momento una nueva aportación y que ese conocimiento actualmente es utilizado como una práctica común en la industria avícola.

Control del Síndrome ascítico mediante programas de modulación alimenticia (8)

Una serie de tres experimentos en una elevada altitud sobre el nivel del mar (msnm), con programas de modulación alimenticia se realizaron para determinar el efecto sobre los parámetros productivos e incidencia del SA.

En el primero a 1940 msnm, se evaluaron tres programas de alimentación consistentes en el consumo *ad libitum* (testigo) vs el acceso al alimento por ocho horas al día y un consumo diario de alimento correspondiente al 90 % del tratamiento testigo. En ambos

programas de modulación, la incidencia del SA se redujo significativamente (100% y 73%), pero la ganancia de peso corporal disminuyó severamente (15.5% y 8.9%), con relación al control. En el segundo también realizado a 1940 msnm, se compararon tres programas de alimentación de días alternos (skyp a day) en diferentes periodos del ciclo productivo durante la fase de iniciación (considerando la experiencia del Dr. Estudillo) que correspondió el primero del día 7 al 13 de edad, el segundo se aplicó a una edad mayor (día 15 al 21) y el tercero del 22 al día 28. En los programas la mortalidad por el SA disminuyó significativamente con relación al control (37, 15, 17 y 8% respectivamente), sin observar en el primero una reducción en la ganancia de peso corporal del testigo (2143, 2034 y 2058 g vs 2146 g) o en el incremento de la conversión alimenticia. (2.09, 2.09 y 2.20 g/g vs 2.02 g/g). En el tercer trabajo que se realizó a 2500 msnm, se aplicaron programas de restricción alimenticia más severos debido a que las aves se alojaron a una mayor altitud, corroborando que dependiendo del programa de alimentación se obtienen diferentes respuestas sobre la mortalidad por el SA y parámetros productivos; concluyendo que la respuesta es mejor cuando los

programas inician a una edad más temprana y se aplican por mayor tiempo. Actualmente es una práctica común proporcionar una cantidad específica de alimento a los pollos de acuerdo a la edad, siendo cercana al 90% de lo establecido en los manuales de producción de las líneas genéticas. Esta práctica por si misma, no es suficiente; es necesario considerar la ubicación de las instalaciones, época del año e incidencia histórica de mortalidad por SA entre otros para determinar con una decisión bio-económica cual programa de modulación de alimentación sería aplicable.

La revista Veterinaria México OA de la UNAM, en el año 2020, publicó artículos conmemorativos de sus primeros 50 años de existencia (1970-2020), reeditando artículos históricos de profesores eméritos de la UNAM que han contribuido en ella. Es así, como dan un reconocimiento al Dr. Ernesto Ávila González reeditando el artículo sobre la restricción de alimento en pollo de engorda para reducir la mortalidad por el SA, publicado originalmente en el año 1995 en dicha revista (9).

La restricción en el tiempo de acceso al alimento en pollo de engorda para reducir la

mortalidad causada por el síndrome ascítico (9)

Se realizó un experimento con pollos de engorda de 1 a 56 días de edad alojados a 1940 msnm para identificar la respuesta a los parámetros productivos y % de mortalidad por el SA al tener acceso limitado al alimento en horas/día (8 y 5) y por distinta duración en días (42, 56, 21 y 28), quedando los tratamientos de la siguiente manera. T1: 8 horas (día 9 al 42), T2: 8 horas (día 9 al 56), T3: 5 horas (día 9 al 21) T4. 5 horas (día 9 al 28), T5 libre acceso durante todo el ciclo.

El peso corporal para el T1, T2, T3 y T4 fue 6.9, 11.2, 4.5 y 7.5% inferior con respecto al tratamiento testigo (2246g), el consumo de alimento (5287g) presentó una reducción del 3.1, 3.2, 9.0 y 14.5%; en cambio el índice de la conversión alimenticia (2.39 g:g) mejoró en 0.16, 0.05, 0.11 y 0.18 puntos. La mortalidad (10.75%) mostró una marcada disminución que correspondió a 30.2, 27.9, 48.8 y 37.2% con respecto al tratamiento testigo.

Cabe señalar que la aparición del SA fue a partir de la segunda semana de edad en el tratamiento testigo y en los tratamientos con restricción ocurrió en la quinta. Bajo estas condiciones, el tratamiento testigo a pesar de haber

obtenido el mayor peso corporal tuvo el costo de producción más alto atribuido a la elevada mortalidad y conversión alimenticia.

La reducción del crecimiento del pollo a través de la modulación del consumo de alimento, demostró ser un método efectivo para disminuir la incidencia del SA; sin embargo, se tendrá que evaluar con precisión el costo por modificar el desarrollo corporal y la disminución de la mortalidad; esta práctica no se debe considerar la solución; constituye un paliativo que va en conjunto con una serie de factores ambientales, sanitarios y nutricionales.

Uso de electrocardiografía para la selección genética en reproductoras pesadas: Efectos en el rendimiento e incidencia de ascitis (10, 11)

El término Síndrome de hipertensión pulmonar (SHP), describe con mayor precisión al SA al ser una enfermedad metabólica específica que altera de forma primaria el sistema cardiopulmonar con una marcada predisposición en el pollo de engorda. Con la finalidad de poder incluir como criterio de selección en las gallinas y gallos reproductores la identificación de alteraciones cardíacas y el potencial de

que sea una predisposición al SA en la progenie, se identificó mediante la electrocardiografía (ECG) que es una técnica no invasiva capaz de detectar cambios en la función cardíaca que podrían estar asociados con un incremento en la susceptibilidad al SHP de la progenie. Se utilizó la progenie de reproductoras (es) Ross (308) con diferentes cruzamientos de acuerdo con la dirección del Axis Eléctrico Promedio (AEP) (craneal izquierdo y derecho) del complejo de despolarización ventricular RS del plano frontal en el análisis de ECG, en tres distintas épocas del año. Para cada una de ellas se utilizaron 600 pollitos mixtos de un día de edad, los cuales se mantuvieron en producción hasta los 49 días de edad. Los pollitos se distribuyeron mediante un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 3 x 4 con 3 réplicas de 50 aves cada uno. Siendo los efectos principales la época de crianza (enero-febrero; marzo-abril y junio-julio) y los cuatro tratamientos (a, progenie de hembras x machos con un AEP craneal derecho; b, hembras con un AEP craneal izquierdo x machos con derecho; c, hembras x machos con un AEP craneal izquierdo; d, hembras con un AEP craneal derecho x machos con izquierdo). Las aves de ascendencia con un AEP con dirección craneal izquierdo presentaron los

mayores pesos corporales (2254, 2333, 2446 y 2382 g), mejores conversiones (2.04, 2.01, 1.95 y 1.98 g/g), menores porcentajes de mortalidad general (13.91, 9.62, 8.47 y 8.62 %) y SA (8.75, 6.93, 2.78 y 4.15 %) a los 49 días de edad. Estos criterios estuvieron influenciados también por las distintas épocas de estudio, disminuyendo la mortalidad general (15.95, 7.86 y 6.65 %) y SA (9.64, 5.03 y 2.29 %), en la época de mayor temperatura ambiental. Los resultados demostraron que reproductoras con ECG indicativos de alteraciones producen en mayor grado pollitos con mortalidad por el SA al final de un período de engorde de 49 días, independientemente que la progenie con la incidencia más baja de SA tuvo significativamente mayor peso corporal y mejor conversión alimenticia que la progenie con la mayor incidencia de SA. Estos resultados indicaron que la ECG podría usarse con éxito para seleccionar la resistencia al SA por fallas cardíacas sin efectos perjudiciales en el desarrollo de parámetros zootécnicos de las reproductoras. Los avances para su control tendrán que estar encaminados a los aspectos genéticos, alimenticios, ambientales y a la integridad del sistema cardiopulmonar.

Estirpe y temperatura ambiental en la incidencia del Síndrome ascítico en el pollo de engorda (12)

Un trabajo interesante fue el que se evaluó la crianza de dos estirpes comerciales en tres diferentes condiciones de la temperatura ambiental (TA), en los primeros 28 días de edad, sobre la mortalidad por SA e indicadores productivos a los 46 días de edad. Para cada uno de los tratamientos se colocaron termómetros digitales a la altura de las aves programados a medir temperatura ambiental (°C) y humedad relativa (%), cada hora; fue así como se obtuvieron 672 lecturas de cada uno de ellos, correspondiente a los 28 días de crianza, clasificándose en número de horas confort (todas aquellas TA que estuvieron entre los rangos descritos en los manuales de producción de las estirpes estudiadas en cada una de las semanas); número de horas frío (todas aquellas que estuvieron por debajo) y número de horas calor (todas aquellas que estuvieron por arriba). Las aves alojadas con mayor porcentaje en horas frío (61, 43 y 35 %) en el periodo de crianza, presentaron al final de la prueba, el mayor porcentaje de mortalidad del SA (10.6, 6.8 y 4.0 %), sin tener efecto en la ganancia del peso corporal ni en la conversión alimenticia

entre los ambientes estudiados. La mortalidad por el SA (3.85 vs. 10.42 %) difirieron entre las estirpes, pero con indicadores de producción similares. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente ensayo se concluye mantener a las aves en la crianza con temperaturas ambientales de acuerdo a lo establecido en los manuales de producción de las estirpes (confort), es una herramienta fácil, practica, efectiva y económica para disminuir la incidencia del SA, con la ventaja de obtener mejores indicadores productivos y que el factor genético fue determinante, lo que se debe de trabajar en obtener líneas con una menor tendencia a presentar SA.

Conclusiones

A pesar de estar presente en México desde hace aproximadamente 45 años, de los grandes avances tecnológicos e inversiones en la construcción, equipamiento y controles en las granjas avícolas particularmente en las casetas de ambiente controlado, el SA persiste en la avicultura comercial, reconociendo que se ha logrado reducir la mortalidad, pero continúa siendo un serio problema de carácter prioritario. Como cualquier actividad que inicia particularmente si es poco conocida, durante el proceso ocurren errores y

aciertos, se genera conocimiento y experiencia que permite entender con mayor profundidad el tema y con ello las medidas de prevención y control; actualmente, se continúa estudiando el SA bajo condiciones controladas de investigación, integrando la aplicación de los resultados experimentales a condiciones de producción intensiva como herramienta de validez de la respuesta y retroalimentación.

El grupo de mexicanos pioneros en el estudio del SA, continúa activo, no es arriesgado decir que es la nación con mayor experiencia sobre el tema; países incluyendo Brasil con su alta tecnología han adoptado las prácticas que se realizan en México, el modelo de trabajo bajo condiciones experimentales obviamente tiene que ser validado en las condiciones particulares de producción, la respuesta esperada bajo condiciones de investigación no necesariamente será similar bajo los sistemas intensivos donde se presentan variaciones y se realiza con pocas repeticiones; esto genera un inconveniente en las publicaciones indizadas dado que los revisores consideran y es correcto que no cumplen los requisitos de una metodología para poder obtener una repetitividad de los resultados. Estamos hablando de cerca de 45 años de su

aparición y esto sin lugar a duda genera información muy valiosa sobre todo en las empresas con la visión de tener información y analizarla para tomar las mejores decisiones bioeconómicas.

Es un hecho que las empresas que no tengan resultados competitivos no podrán permanecer en el negocio; en sus inicios los avicultores en general tuvieron grandes pérdidas económicas pero también poco interés para generar conocimiento y resolverlo de una manera ordenada, congruente y con bases científicas; muchos de ellos quedaron fuera de la avicultura y surgió una importante transformación del avicultor tradicional a un concepto de empresarios avícolas; estos son quienes permanecen en esta actividad y gracias a ello México es el quinto productor de huevo y de carne de pollo a nivel mundial, resaltando ser reconocido como el país con el mayor consumo de huevo per cápita a nivel global.

Referencias

1. Estudillo, L.J.: (1979). Consideraciones sobre la problemática, patogenia, etiología y consecuencias de la llamada ascitis del pollo de engorda". Avirama.1:11-22.
2. Arce MJ, López CC, Vásquez PC. (1987). Análisis de la incidencia del

síndrome ascítico en el Valle de México. *Téc Pecu Méx*; 25:338-346

3. López C.C.: (1982). Reporte de investigaciones recientes del síndrome ascítico en México; VI ciclo internacional de conferencias sobre avicultura. México.
4. López CC, Arce MJ, Avila GE, Hargis B. (1994). Manual del productor para el control del Síndrome Ascítico III. México. México (D.F): U.S. Feed Grains Council México d:1-53.
5. Arce M.J., Peñalva G.G., López C.C. and Avila G.E. (1997). Control of ascites syndrome by qualitative and qualitative early feed restriction. *Proceedings 18th Annual Meeting Southern Poultry Society*. Atlanta, USA.
6. Berger, M, M., Castellanos, F, G. y Arce, M.J. (1993). Efecto de la restricción alimenticia sobre el consumo de energía y su relación con el síndrome ascítico en pollo de engorda *Técnica Pecuaria en México*. Vol 31 No. 3. Sept-Dic. pp 137-143.
7. D. Camacho-Fernández, C. López, E. Avila and J. Arce. (2002). Evaluation of different dietary treatments to reduce ascites síndrome and their effects on corporal characteristics in broiler chickens. *The Journal of Applied Poultry Research*. Vol.11. Number 2. summers.164-174.
8. Arce, M.J., Berger, M. and López,

C.C. (1992). Control of ascites syndrome by feed restriction techniques. *The Journal of applied poultry research* 1:1 1-5.

9. José Arce Menocal; Carlos López Coello; Ernesto Ávila González; J. Francisco Tirado Almendra. (2020) La restricción en el tiempo de acceso al alimento en pollo de engorda para reducir la mortalidad causada por el síndrome ascítico. *Veterinaria México OA*. Vol. 7; No. 3 ;Julio-September.
10. Arce M.J., Avila G.E., López C.C., Lemus M.L. (2005). Use of electrocardiography for genetic selection in broiler breeders: Effects on live performance and ascites incidence. *Journal of Applied Poultry Research*. 14: 281-288.
11. Odom, T.W., Hargis, M.B., López C.C., Arce M.J., Ono Y. and Avila G.E. (1991) Use of electrocardiographic analysis for investigation of ascites syndrome in broiler chickens. *Avian Diseases* 35:738-744.
12. Arce M.J., Avila G.E., López C.C., Ortega RG. Stock and environmental temperature in the incidence of the ascitic syndrome in broiler chickens. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 2007: Volume 41, Number 3: 247-250.

Análisis de la sostenibilidad de unidades de producción de doble propósito en trópico seco

Anastacio García-Martínez*
Benito Albarrán-Portillo
Carlos Galdino Martínez García
Sherezada Esparza Jiménez
José Fernando Vázquez Armijo

Correo electrónico:
angama.agm@gmail.com

Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
29 de agosto de 2023

Palabras clave: ganadería, doble propósito, indicadores, escalas, sostenibilidad, desarrollo.

RESUMEN

La sostenibilidad es un término que se ha popularizado desde el Informe de Brundtlan, para dar repuesta a problemas que presentan los sistemas agropecuarios sobre equidad social, viabilidad económica y cuidado del ambiente. El objetivo fue analizar la sostenibilidad de unidades de producción (UP) de ganado bovino de doble propósito. La información se recopiló a través de encuestas estructuradas a 29 titulares de las UP, obtenidos partir de un muestreo por intención o Bola de Nieve. Para el análisis de la información se utilizó el método IDEA y se encontró que la sostenibilidad de las UP, es afectada por la escala económica y se convierte en una limitante para el desarrollo de la ganadería, mientras que las escalas agro-ecológica y socio-territorial, favorecen la sostenibilidad de la actividad. Se concluye que existe una escasa especialización económica y la transmisibilidad de la UP se ve comprometida y amenazada.

Introducción

La ganadería extensiva constituye una actividad importante en zonas rurales (1). Hoy por hoy, su carácter multifuncional es ampliamente reconocido y además de las funciones productivas y económicas, deben ser consideradas otras relacionadas con la conservación del ambiente y los recursos naturales, seguridad alimentaria (2) y cohesión económica y social (3). Sin embargo, existen factores que amenazan la continuidad de muchas UP (4), ocasionado por la falta de interés de gente joven y el elevado costo de oportunidad de la mano de obra (5). El abandono de la tierra está sucediendo de forma continua en muchas partes del mundo, por lo que la que la sostenibilidad de estos sistemas ganaderos está condicionada a su capacidad de adaptación a los cambios sociales y económicos experimentados por su entorno (6). La ganadería de doble propósito (DP) por sus características, representa una actividad relevante para el desarrollo local y la venta de leche, es una fuente de ingreso importante para la economía de población rural que la práctica (7). El trópico seco aporta 26% de leche nacional y presenta una tendencia de incremento, por el uso de los recursos de la propia UP. Sin embargo, al utilizar

insumos externos, pone en duda la sostenibilidad de la actividad. La sostenibilidad es un término que se ha popularizado desde 1987 con el Informe Brundtlan, cuyo desafío es dar repuesta a los problemas que se presentan en la actividad ganadera, en bienestar animal y seguridad alimentaria, la desertificación y el cambio climático, la viabilidad económica y la equidad social. Estos sistemas de doble propósito además son conservadores, se ajustan a las condiciones de las familias dedicadas a esta actividad, por el bajo riesgo que surge de los cambios en los precios de venta de los productos obtenidos (8). El manejo del ganado es de forma extensiva y el confinamiento se realiza en corrales rústicos únicamente durante la noche; su alimentación del ganado se basa en el pastoreo continuo, utilizando pastizales, arbustos y árboles principalmente, así como el uso de alimentos balanceados durante la época de estiaje (9). La perdurabilidad de estas UP está condicionada a la capacidad para adaptarse a los cambios sociales, económicos y políticos (8), así como a nuevas oportunidades y restricciones que dicta la dinámica del entorno en el que se desarrollan (9). En función de lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar la sostenibilidad de

unidades de UP de producción de ganado en trópico seco, mediante el método IDIEA (Indicateur de durabilité des exploitations agricoles).

Materiales y métodos

Localización de la zona de trabajo

El trabajo se realizó en el municipio de Tlatlaya, ubicado en la zona suroeste del Estado de México. Se localiza en las coordenadas geográficas 18°22' y 18°41' N y 100°04' y 100°27' O a una altitud entre 300 y 2,400 msnm. Su temperatura oscila entre 18°C y 28°C, precipitaciones de 1,000 y 1,500 mm y clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Su territorio representa 3.55% (798.92 km²) de la superficie estatal (10).

Recolección de información

Se realizó un muestreo por intención o bola de nieve de acuerdo con Joseph-Castillo (2009, p 18) y la información se obtuvo mediante una encuesta estructurada, aplicada por entrevista directa a ganaderos de 29 UP. Es importante resaltar, que se obtuvo el registro de 193 UP en dos Asociaciones; Asociación Ganadera Pedro Asencio de Alquisiras y Asociación Ganadera Local General la Frontera del Municipio de Tlatlaya. La información se analizó mediante el método IDEA (*Indicateurs*

de Durabilité des Exploitations Agricoles o *Indicadores de la Sustentabilidad de las Explotaciones Agrícolas*) (11), el cual está integrado por 16 objetivos, tres escalas de la sostenibilidad: socio-territorial, económica y agro-ecológica. Cada escala está integrada con tres o cuatro componentes que hacen un total de 10, cada componente está integrado por un total de 42 indicadores (12). El método se modificó y ajustó ya que fue elaborado en Francia en condiciones diferentes a las de la zona de estudio. Para el indicador Proceso de calidad (B1) fue considerada la norma mexicana sobre la calidad de la leche, para el indicador Pesticidas (A14) sobre uso de pesticidas se consideró las especificaciones del INE (1991) (13) y COFOCALEC (2012) (14). Finalmente, los indicadores Sensibilidad a ayudas, así como Eficiencia del proceso productivo (C4 y C6) se determinaron de acuerdo con el análisis de presupuestos parciales (15). Cuatro indicadores no se incluyeron ya que no se cuenta con información suficiente para determinarlos, por ejemplo: Valorización y conservación del patrimonio genético (A4), Contribución a desafíos ambientales (A9), Servicios y actitudes múltiples (B8) y Valorización del patrimonio y paisaje (B2).

Resultados

Las principales características estructurales de las UP doble propósito, se muestran en Cuadro 1. El sistema doble propósito en función la muestra de UP estudiadas se ha practicado durante más de 60 años y gestionadas por ganaderos mayores. Existe un elevado porcentaje de ganaderos que no tienen estudios, aunque más de 60% si cuenta con algún nivel educativo, como primaria y un porcentaje discreto cuanta con estudios profesionales. En relación con la disponibilidad de tierra, un elevado porcentaje es propiedad, aunque estas UP se caracterizan por el arrendamiento de tierra, destinada principalmente a la alimentación del ganado. Destaca la presencia superficies forrajeras (SF) y más de 88% de la tierra se destina al cultivo de forraje, agostaderos y a pastizales con aprovechamiento agroforestal. Un bajo porcentaje, se destina a cultivos agrícolas, principalmente maíz y sorgo. La mano de obra (UTA) en las UP, es principalmente familiar, aunque parte de la mano de obra total, es contratada, sobre todo en UP con hatos grandes. La estructura del hato se caracteriza por un promedio de 40 unidades ganaderas totales, de las cuales 65% son vacas. Sin embargo, existe la presencia de otros animales como ovinos y cabras, aunque

en baja proporción. En el Cuadro 2, se muestran los principales ingresos, costos de producción e indicadores económicos de la ganadería. Se observa que el principal ingreso proviene de la venta de animales. En este rubro, la venta de terneros (as) es importante, así como la venta de hembras para reemplazo. La engorda de ganado, tiene poca relevancia. Los ingresos por venta de leche también son importantes. El sistema produce un promedio de 5,431.21 litros de leche por año (5 L/vaca/día), de los cuales solo 3.3% se vende como leche bronca, directamente al consumidor (\$5 a \$6/L). El resto se destina a la producción de queso, principalmente durante el periodo de lluvia, cuando incrementa la producción de forraje. En promedio se llega a elaborar 400 kg de queso, que se venden a \$200/kg. Bajo este esquema, el costo del litro de leche promedia \$5.5/L y Margen Neto promedio es de \$4.1/L de leche. Lo que supone una ganancia de 74.5%/L de leche vendida. El costo de la alimentación supuso 51% de los costos totales. La venta de ovinos y caprinos (otras ventas), son de baja importancia en estas UP y los subsidios a la ganadería, representan 5% del ingreso total. En función del MB⁻¹ y MN⁻¹, se observó un ingreso en las UP de \$236.6 y \$217.3 por día,

respectivamente. Finalmente, en relación con los indicadores económicos unitarios, se observó un

MN⁻¹ de \$1,136.30 ha SAU⁻¹, \$3,050.14 vaca⁻¹ y \$479,876.59 UTA⁻¹.

Cuadro 1. Características socioeconómicas

Características	UPDP
Unidades de Producción (UP)	29.00
Antigüedad de la UP (años)	63.07
Edad del ganadero	59.72
Escolaridad	
% <i>Ninguno</i>	35.72
% <i>Primarios</i>	46.43
% <i>Secundarios</i>	10.71
% <i>Superiores</i>	7.14
ha de superficie total	58.03
% <i>Propiedad</i>	85.51
% <i>Arrendamiento</i>	14.49
% <i>Cultivos Agrícola</i>	11.53
% <i>Superficie Forrajera</i>	38.89
% <i>Agostadero</i>	39.27
% <i>Monte agroforestal</i>	10.31
Mano de Obra (UTA)	1.59
% <i>UTA familiar</i>	91.71
% <i>UTA contratada</i>	8.29
Número de vacas	26.10

UPDP= unidades de producción doble propósito. UP = unidad de producción.

Cuadro 2. Principales ingresos, costos de producción e indicadores económicos en las UP

INDICADOR	Cantidad	% sobre el IT
Ingreso por venta de bovinos	109,275.00	79.16
Ingreso por venta de ovinos y caprinos	323.59	0.23
Ingreso por venta de leche y queso	21,395.17	15.50
Ingreso por subsidios	7,048.97	5.11
Ingreso total por venta de productos	130,993.76	
Ingreso total (IT)	138,042.72	
Costo total de producción (CT)	51,689.97	
Margen bruto (MB ⁻¹)	86,352.75	
Margen neto (MN ⁻¹)	79,303.79	

Los resultados del estudio de sostenibilidad se muestran en función de las tres escalas que indica el método IDEA. En relación con la primera escala o agroecológica (Cuadro 3), se observa que los indicadores en los que se obtuvo el puntaje más bajo son los siguientes: A7 Manejo de materia orgánica; ya que solo el 3.44% de los productores

aprovecha el estiércol del ganado depositado en los corrales (pocas veces se hace composta o tratamientos), las heces son depositadas directamente de los animales en el terreno durante el pastoreo, pero la mayor parte de estas se quedan en los sitios para sombra y descanso, que se localizan principalmente en los barrancos y los

valles del terreno, eso evita que sean reincorporadas de manera homogénea en el terreno. Por otra parte, son arrastradas por la lluvia a partes bajas debido a la pendiente de los terrenos; A12 Fertilización; uno de los principales problemas que tienen las UP es la dependencia de fertilizantes; 96.55% de los productores utilizan fertilizantes nitrogenados, a dosis de 98.09 kg/ha; 89.65% de los productores aplica fertilizantes que contienen fosforo a dosis de 40.23 kg/ha y, 10.34% aplica

potasio a dosis de 40.63 kg/ha. No se elaboran fórmulas de fertilización o tratar de lograr un pH básico mediante calificación, con lo que se reducirían considerablemente las dosis de fertilización utilizadas; A15 Tratamientos veterinarios; se llegan a realizar alrededor de 6 tratamientos en promedio durante el año, en este caso un número elevado penaliza el puntaje de este indicador, tratamientos por abajo del 0.5 sería de mayor beneficio.

Cuadro 3. Escala Agro-ecológica de la sostenibilidad

	Componente	Indicadores	UPP	Máximo	
Escala Agro-ecológica	Diversidad (33)	A1 Diversidad de cultivos Anuales y Temporales	7.59	14.00	
		A2 Diversidad de Cultivos Perennes	9.00	14.00	
		A3 Diversidad animal	12.97	14.00	
	Organización de espacio (33)	A5 Rotación de los cultivos	7.59	8.00	
		A6 Dimensión de las parcelas	3.59	6.00	
		A7 Manejo de la materia orgánica	0.07	5.00	
		A8 Zonas de regulación ecológica	6.52	12.00	
		A10 Carga animal	4.17	5.00	
	Prácticas agrícolas (34)	A11 Manejo de la superficie forrajera	2.17	3.00	
		A12 Fertilización	0.03	8.00	
		A13 Efluentes líquidos orgánicos	3.00	3.00	
		A14 Pesticidas	1.48	13.00	
		A15 Tratamientos veterinarios	0.21	3.00	
		A16 Protección del suelo	2.38	3.00	
		A17 Manejo del agua	3.86	4.00	
		A18 Dependencia energética	9.72	10.00	
	Total			74.76	100.00

UPDP= Unidades de Producción Doble Propósito

En la escala socio-territorial (Cuadro 4) los indicadores en los que se obtuvieron puntajes bajos fueron los siguientes; B1 Calidad de la leche producida; en este indicador solo se evaluó las características nutricionales, no se realizó el análisis sanitario, la leche fue clasificada dentro de la norma

mexicana de la calidad de la leche cruda como clase "A" por el contenido de proteína y de grasa debido a que supera los 32 gr/L de estos nutrientes; B3 Manejo de los desechos no orgánicos; el puntaje bajo se debe a que la reducida reutilización y aprovechamiento de los desechos generados; B4 Accesibilidad

al espacio; el valor final de este indicador se debe a la falta de mantenimiento a las vías de comunicación, principalmente caminos para la distribución y comercialización de productos; B10 Trabajo colectivo; el valor final se debe a la falta de bancos de

empleadores, así como a la falta de redes de trabajo; B14 Formación; el 46.27% del promedio general de los productores solo estudio hasta la primaria, el 35.31% no cuenta con estudios, 10.71% termino la secundaria y el 7.14 cuenta con alguna profesión.

Cuadro 4. Escala socio-Territorial de la sostenibilidad

	Componente	Indicadores	UPDP	Máximo	
Escala Socio-territorial	Calidad de los productos (33)	B1 Calidad de la leche producida	3.00	10.00	
		B3 Manejo de los desechos inorgánicos	2.00	5.00	
		B4 Accesibilidad al espacio	1.00	5.00	
		B5 Participación social	5.00	6.00	
		B6 Redes cortas de comercialización o venta directa	6.00	7.00	
	Empleo y servicios (33)	B7 Autonomía y aprovechamiento de los recursos locales	8.83	10.00	
		B9 Contribución al empleo	4.28	6.00	
		B10 Trabajo colectivo	2.00	5.00	
		B11 Factibilidad de la sostenibilidad agropecuaria	2.07	3.00	
		B12 Contribución al equilibrio alimentario mundial	10.00	10.00	
		B13 Bienestar animal	3.00	3.00	
	Ética y desarrollo humano (34)	B14 Formación	1.34	6.00	
		B15 Intensidad del trabajo	5.00	7.00	
		B16 Calidad de vida	5.00	6.00	
		B17 Aislamiento	2.79	3.00	
		B18 Hospitalidad e higiene	4.00	4.00	
		Total		65.31	96.00

UPDP= Unidades de Producción Doble Propósito.

Los indicadores de la escala económica se muestran en el Cuadro 5. Se observan puntuaciones bajas en los siguiente indicadores; C2 Tasa de Especialización Económica; el valor final se debe a que 78.03% proviene de la venta de bovinos, 20.35% de la venta de leche y queso, el mejor desempeño en este caso va encaminado a una mayor diversidad de productos o en su defecto que las principales ventas deberían corresponder a menos de 25% a un solo comprador; C5 Transmisibilidad

económica, relacionado con un posible alto valor del capital de la UP, lo que dificultaría su venta. Por otra parte, se relaciona con su capacidad para perdurar de una generación a la otra. En caso de sucesión, la importancia de los capitales necesarios para el funcionamiento de la UP y para su traspaso puede finalmente conducir a su desmantelamiento.

En la Figura 1. En la gráfica se puede observar los componentes de las tres escalas, en donde las principales

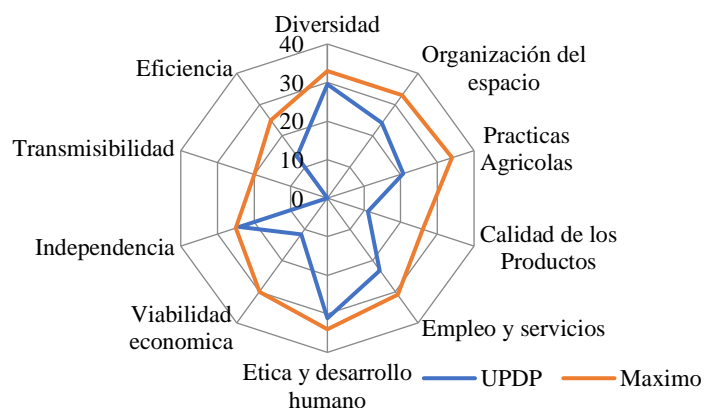
debilidades de las UP se ven reflejados en los componentes: Calidad de los productos; ya que obtuvo solo 57.69% del puntaje total, Viabilidad económica, componente en el que se obtuvo menos de 61.61% de total y Transmisibilidad, con un valor del componente de 0. La sostenibilidad global estuvo limitada

por la escala económica ya que ésta presenta el menor desempeño de la UP, en cambio en la escala agroecológica se presenta un mayor desempeño de las UP, mientras que la escala socio-territorial, se encuentra entre las dos anteriores (Figura 2).

Cuadro 5. Escala Económica de la sostenibilidad

	Componente	Indicadores	UPDP	Máximo
Escala Económica	Viabilidad económica (20)	C1 Viabilidad económica	10.21	20.00
		C2 Tasa de especialización económica	1.31	10.00
	Independencia (25)	C3 Autonomía financiera	15.00	15.00
		C4 Sensibilidad a las ayudas	9.03	10.00
	Transmisibilidad (20)	C5 Transmisibilidad económica	0.00	20.00
	Eficiencia (25)	C6 eficiencia del proceso productivo	13.41	25.00
	Total		48.97	100.00

UPDP= Unidades de Producción Doble Propósito.



UPDP= Unidades de Producción Doble Propósito.

Figura 1. Componentes de la sostenibilidad en UP.

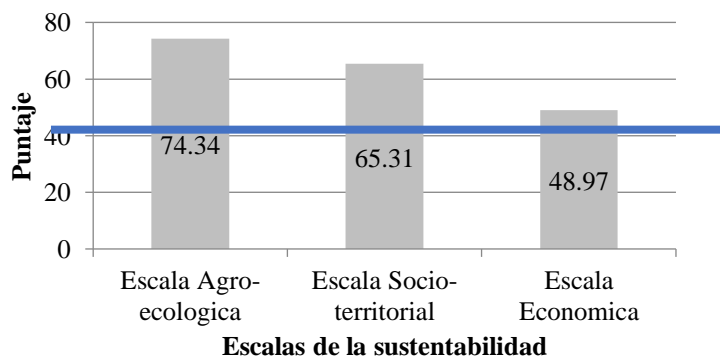


Figura 2. Puntaje final de la sostenibilidad.

Conclusión

La ganadería en el municipio de Tlatlaya es la principal actividad económica, en la cual se ha observado una especialización hacia la producción de carne que ha desplazado en gran medida a la producción de leche. UP de menor tamaño tienen mayor eficiencia económica por ha de SAU y vaca, mientras que UP grandes, presentan mayor intensificación de la mano de obra. La sostenibilidad en UP de ganado bovino de doble propósito en condiciones de trópico seco es afectada por la escala económica y se convierte en una limitante para el desarrollo de la ganadería en la zona de estudio. Las escalas agro-ecológica y socio-territorial, amortiguan la sostenibilidad de la actividad. Estas dos escalas son oportunidades, que se deben aprovechar para implementar estrategias que incrementen la producción y el ingreso familiar. Se observó una escasa especialización económica y la transmisibilidad de la UP se ve comprometida y amenazada. El método IDEA es una herramienta adecuada para evaluar la sostenibilidad en la ganadería.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México, por el

financiamiento de los proyectos de los que se deriva esta información. Asimismo, a los integrantes del Cuerpo Académico en Sistemas de Producción Agropecuaria y Recursos Naturales (CASPAREN) y a los ganaderos involucrados, por el aporte a la investigación.

Referencias

1. Gibon, A., Balent, G., Alard, D., Muntane, J., Raich, Y., Ladet, S., Mottet, A. y Lulien, M. P. (2004). L'usage de l'espace par les exploitations d'élevage de montagne et la gestion de la biodiversité. *Fourrages*, 178, 245-263.
2. Bernués, A., Riedel, J. L., Asensio, M. A., Blanco, M., Sanz, A., Revilla, R. y Casassus, I. (2005). An integrated approach to studying the role of grazing livestock systems in the conservation of rangelands in a protected natural park (Sierra de Guara, Spain). *Livestock Production Science*, 96 (1), 75-85.
3. Laurent, C., Maxime, F., Mazé, A. y Tichit, M. (2003). Multifunctionality of agriculture and farm models. *Economie Rurale*, 273/274, 134-152.
4. García-Martínez, A. (2008). Dinámica reciente de los sistemas de vacuno en el Pirineo Central y evaluación de sus posibilidades de adaptación al entorno socio-económico. Tesis de doctorado. Facultad de

Veterinaria, Universidad de Zaragoza, España.

5. García-Martínez, A., Bernúes, A. y Olaizola, A. (2011). Simulation of mountain cattle farming system changes under diverse agricultural policies and off-farm labour scenarios. *Livestock Science*, 137, 73-86.

6. Vences-Pérez, J., Nájera-Garduño, A de L., Albarrán-Portillo, B., Arriaga-Jordán, C.M., Rebollar-Rebollar, S. y García-Martínez, A. (2015). Utilización del método IDEA para evaluar la sustentabilidad en unidades de producción de ganado bovino. En: David Iglesias Piña, Fermín Carreño Meléndez y Alan Noé Jim Carrillo Arteaga. *Sustentabilidad productiva sectorial. Algunas evidencias de aplicación*. Universidad Autónoma del Estado de México, México. 15-39.

7. García-Martínez A, Albarrán-Portillo, B. y Avilés-Nova, F. (2015). Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur de estado de México. *Agrociencia*, 49, 125-139.

8. Salas-Pérez, I. G., Arriaga-Jordán, C. M., García-Martínez, A., S. Rebollar-Rebollar., Rojo-Rubio, R., Albarrán-Portillo, B. (2015). Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico. *Tropical Animal*

Health and Production, 47 (6), 1187-1194.

9. García-Martínez, A., López-Gama, R., Morales-Almaráz, E., Martínez-García, C. G., Albarrán-Portillo, B. y Rayas-Amor, A. A. (2017). Análisis productivo y económico de unidades de producción de ganado bovino para carne en Tlatlaya, estado de México. *Agroproductividad*, 10 (10), 22-28.

10. PDMT. (2019). Plan de Desarrollo municipal del municipio de Tlatlaya, estado de México. H. Ayuntamiento Constitucional de Tlatlaya, 2019-2021. Disponible en https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo3/2019/42987/1/df39fc8b1169f3f37190047e36f90487.pdf. [Consulta: 13 de enero de 2023].

11. Vilain, L., Girardin, P., Mouchet, C., Viaux, P. and Zahm, F. (2008). *La method IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation*, Dijon, version 3, Educagri Ed. Disponible: <http://www.idea.portea.fr/>. [Consulta: 13 de enero de 2023].

12. Zahm, F., Viaux, P., Vilain, L., Girardin, F. and Mouchet, C. (2008). Assessing Farm Sustainability with the IDEA Method – from the Concept of Agriculture Sustainability to Case Studies on Farms. *Sustainable Development*, 16, 271-281.

13. INE. (1991). Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Químicas (CICOPLAFEST). Instituto Nacional de Ecología, México. Disponible en <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/index.html>. [Consulta: 13 de enero de 2023].
14. COFOCALEC. (2012). Sistema producto leche-alimento-lácteo-leche cruda de vaca- Especificaciones fisicoquímicas sanitarias y métodos de prueba., Consejo para el fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados. A.C.NMX-F-700-COFOCALEC.
15. Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T., and Arriaga-Jordán C. M. (2007). Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, 43, 241-256.

Propionato de calcio en la respuesta productiva y calidad de carne de conejo

Pedro Abel Hernández García

Correo electrónico:
pedro_abel@yahoo.com

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
29 de agosto de 2023**

RESUMEN

El objetivo fue determinar el efecto de la inclusión alimentaria de 0.0, 0.5, 1.0 y 1.5 % de propionato de calcio en el comportamiento productivo, características de calidad y ácidos grasos de la carne de conejos en finalización. Se emplearon 36 conejos de 1.4 kg de PV, durante 35 días, se sacrificaron al llegar al peso comercial, con el musculo Longissimus dorsi para determinar pérdida de agua por cocción y presión, pH, color y perfil de ácidos grasos. Los datos se analizaron mediante un diseño completamente al azar y se realizaron polinomios ortogonales. No se encontraron efectos en las variables productivas, sin embargo, se incrementó la digestibilidad con respecto al testigo ($P=0.01$). Se encontró un efecto lineal ($P = 0.003$) en la pérdida de agua por presión. Se concluye que el uso alimenticio de propionato de calcio en conejos incrementa la digestibilidad y la capacidad de retención de agua de la canal.

Palabras clave: acidificante alimenticio, comportamiento productivo, calidad de carne.

Introducción

Es inminente incrementar la producción de alimentos de alto valor biológico para mejorar la nutrición y salud humana, aunado a la tendencia actual de los consumidores en buscar alimentos con bajos contenidos de grasas saturadas, en este sentido destaca la producción de conejo debido a su facilidad de cría (1), además de presentar diversas ventajas en la carne tales como bajo niveles de sodio, contenido de grasa, con un 60 % de ácidos grasos insaturados (2, 3), debido a esto es posible modificar la calidad y valor nutricional mediante el manejo alimenticio con el empleo de aditivos (4, 5). El uso de ácidos orgánicos (formatos, diformatos y propionatos), han mostrado que favorecen el ecosistema microbiano cecal, optimizan la digestión y absorción intestinal de las proteínas y minerales, además de incrementar el aprovechamiento de los nutrientes no absorbidos en intestino delgado en ácido grasos volátiles mejorando el comportamiento productivo y calidad de carne (6). Tal es el caso del propionato de calcio, el cual, podría incrementar el comportamiento productivo y calidad de la carne a través de un incremento en la disposición de energía muscular del conejo. El objetivo

de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición dietaria de 0.0, 0.5, 1.0 y 1.5 % de propionato de calcio sobre el comportamiento productivo y características de la carne de conejos en finalización.

Materiales y métodos

La investigación se condujo en las instalaciones de la Posta Zootécnica y en el Laboratorio Multidisciplinario de Investigación del Centro Universitario UAEM Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México; siguiendo los lineamientos de la Ley de Protección Animal y el Comité de Ética de la Investigación del Centro Universitario Amecameca.

Se emplearon 36 conejos (n=8) de línea comercial cárnica (Nueva Zelanda x California) con un peso inicial de 1.4 ± 0.07 kg, de 45 días de edad, alojados durante 32 días en jaulas individuales provistas de comedero y bebedero proporcionando la ración experimental que contaba de un alimento comercial con 16% de proteína cruda y la adición de 0.0, 0.5, 1.0 y 1.5 % de propionato de calcio.

Las variables a evaluar en el comportamiento productivo fueron consumo de materia seca, peso final, ganancia diaria de peso y conversión

alimenticia. Al finalizar el periodo experimental los conejos fueron sacrificados siguiendo lo establecido en la NOM 033-SAG-ZOO-2014 (7) para determinar el rendimiento de la canal y el peso caliente y frío, el pH fue medido 24 h post sacrificio empleando un potenciómetro de penetración (8); se obtuvo el musculo *Longissimus dorsi* para evaluar la pérdida de agua por presión y por cocción mediante la técnica de Cañeca y Sañudo (9), así mismo se efectuó una transesterificación siguiendo la técnica de Cert *et al.* (10), para determinar el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases empleando un instrumento Clarus 580, con una columna capilar de 100 m x 0.25 mm x 0.2 μ m (SupelcoTM-2560), utilizando nitrógeno como gas de arrastre y el estándar de esteres metílicos (SupelcoTM 37 component FAME MIX). El color de la carne se determinó empleando la técnica Wang *et al.* (11), en el musculo *Biceps femoris*, con un colorímetro tricromático registrando los valores L*, a* y b* de CIE (Commision I'Éclairage), además se calcularon los valores de Hue y Cromo.

Los resultados obtenidos fueron analizados, empleando un diseño completamente al azar, además de obtener los efectos lineales y cuadráticos mediante polinomios ortogonales con un nivel de significancia de $P < 0.05$.

Resultados

Se observó que la adición de propionato de calcio no mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en variables productivas, sin embargo, la adición del 1.0 % se observó un efecto lineal ($p=0.01$) en digestibilidad de la materia seca con un incremento del 7 % respecto al testigo. Por otra parte, el tratamiento con el 1.5 % de propionato de calcio se observó un efecto lineal ($P = 0.003$) en pérdida de agua por presión, con una reducción del 21.64 % con respecto al testigo. El pH y los parámetros de color del músculo en sus valores L*, a*, b*, Hue y cromo no presentaron efectos significativos ($P > 0.05$; Cuadro 1). Del mismo modo no se observó efecto de la adición de propionato de calcio en ácidos grasos saturados e insaturados ($P > 0.05$; Cuadro 2).

Cuadro 1. Comportamiento productivo, características de la canal y carne de conejos adicionados con propionato de calcio

	Propionato de Calcio (%)					P	
	0.0	0.5	1.0	1.5	EEM	Lin	Cua
Peso inicial (kg)	1.42	1.36	1.50	1.44	0.07	0.60	0.99
Peso final (kg)	2.26	2.10	2.34	2.25	0.09	0.63	0.74
CMS (g)	143.48	138.46	146.38	158.87	9.52	0.21	0.36
GDP (g)	33.72	32.18	34.90	34.05	2.65	0.75	0.89
CA	4.40	5.21	4.31	4.67	0.59	0.97	0.70
Digestibilidad in vivo (%)	65.60	70.98	72.58	70.67	1.37	0.01	0.01
Canal caliente (kg)	1.35	1.30	1.42	1.37	57.82	0.50	0.94
Canal fría (kg)	1.32	1.28	1.40	1.34	57.25	0.49	0.93
RC (%)	58.88	61.25	60.10	59.99	1.52	0.77	0.40
PA por cocción (%)	28.08	29.02	28.86	28.36	0.70	0.83	0.32
PA presión (%)	30.77	29.16	27.62	24.11	1.40	0.003	0.53
pH	5.83	5.76	5.81	5.81	0.03	0.90	0.34
L*	48.71	47.43	46.09	47.15	0.72	0.07	0.11
a*	12.70	13.98	15.07	14.64	0.85	0.07	0.32
b*	6.33	6.17	6.97	6.86	0.42	0.21	0.95
Croma	14.21	15.29	16.22	16.62	0.90	0.07	0.42
Hue	26.60	23.65	24.91	25.50	1.20	0.70	0.15

CMS: Consumo de materia seca; GDP: Ganancia diaria de peso; CA: Conversión de alimento; RA: Rendimiento de la canal; PA: pérdida de agua; L*: luminosidad; a*:_coordenadas rojo/verde; b*:_coordenadas amarillo/azul Lin: efecto lineal; Cua: efecto cuadrático; (P<0.05).

Cuadro 2. Perfil de ácidos grasos de carne de conejos adicionados con propionato de calcio

	Propionato de Calcio (%)					P	
	0.0	0.5	1.0	1.5	EEM	Lin	Cua
Caproico (C6:0)	7.69	3.80	2.24	5.95	1.72	0.56	0.16
Mirístico (C14:0)	2.39	2.73	2.52	2.30	0.29	0.72	0.38
Palmítico (C16:0)	25.57	28.97	26.64	26.86	0.58	0.85	0.37
Palmitoléico (C16:1)	5.84	5.62	6.08	5.93	0.46	0.78	0.95
Esteárico (C18:0)	5.36	5.91	5.58	6.50	2.25	0.16	0.70
Eládico (C18:1 N9t)	29.16	32.19	29.61	29.09	2.36	0.78	0.44
Linoleádico (C18:2n6t)	22.43	23.38	24.01	21.58	0.89	0.85	0.48
Eicosanoico C20:1 (cis-11)	2.57	2.91	2.77	3.12	0.54	0.60	0.99

Lin: efecto lineal; Cua: efecto cuadrático; (P<0.05)

Discusión

En comportamiento productivo los resultados no coinciden con lo reportado por Romero *et al.* (12), al emplear 0.4 % de ácido cítrico y 0.2 % de ácido fórmico en conejos reportaron un incremento del 8.6 % en ganancia de peso, posiblemente a que estos ácidos favorecen la activación de enzimas proteolíticas intestinales, mejorando la respuesta productiva (13, 14). Respecto al efecto en la digestibilidad de la materia seca, posiblemente el aditivo incrementó la absorción de proteínas y minerales, aunado a que los ácidos orgánicos favorecen la modificación de la estructura de la fibra, favoreciendo la digestión enzimática y el aprovechamiento de los nutrientes de la dieta (15, 16).

La pérdida de agua por cocción se mantuvo en promedio en un 28 %, lo cual fue similar a lo reportado por Celia *et al.* (17) al incluir un fitobiótico comercial para conejos en finalización. Por su parte, la disminución lineal de la pérdida de agua por presión observada en este experimento indica una mejor capacidad de retención del agua presente dentro de las miofibrillas por lo que, se observó un incremento en la capacidad de retención por presión del 21.64 % con la adición del 1.5 % de

propionato de calcio. Los valores de pérdida de agua por presión reportados como normales para conejos Nueva Zelanda x California promedian 30.7 % (18), lo cual favorece la hipótesis, el propionato de calcio puede incrementar la jugosidad y terneza de la carne (19), ya que el calcio es activador de proteinasas que se encargan de degradar miofibrillas musculares post mortem, las cuales confieren el ablandamiento durante el proceso de transformación de musculo a carne (20).

El pH de la carne a las 24 h se mantuvo entre 5.7 y 5.8, valores que se han reportado como normales para conejos con 77 días (21). La utilización de otros aditivos alimentarios como orégano, salvia (22); y bacitracina de zinc (23), ha mantenido los valores de pH dentro del rango 5.6 - 5.7, lo que indicaría que el pH es difícil de modificar por inclusión de aditivos alimentarios, situación relevante para incrementar la vida de anaquel y el mantenimiento de la calidad de la carne evitando desnaturalización de proteínas, afectando el color o la capacidad de retención de agua durante el almacenamiento (21).

La adición de propionato de calcio no mostró cambios en las variables de

colorimetría, situación de importancia al utilizar acidificante o similares, los cuales, pueden ejercer un efecto desnaturalizador de la miosina e influir negativamente en el color de la carne (24). Por su parte Kone *et al.* (25) quienes, al evaluar polifenoles, no encontraron diferencias entre tratamientos en los valores L*, a* y b* al ser medidos en *Longissimus dorsi* de conejo, por lo que la adición de propionato de calcio no altera negativamente las características de la carne (26), empleándose con la finalidad de incrementar la energía retenida en musculo evitando la acidificación, logrando mantener el pH para incrementar la vida de anaquel (27).

Las proporciones de ácidos grasos en carne de conejo reportados en esta investigación concuerda con Dalle Zotte (5) quienes reportan valores de 27.3 % de ácido palmítico, 7.9 % de esteárico, 6.6% de palmitoleico, 20.7% de linoleico. Estos datos indican que los ácidos grasos de cadena larga no fueron modificados por el propionato de calcio y que por su presencia en carne de conejos es considerado un alimento funcional para consumo humano (28).

Conclusión

El uso alimenticio de propionato de calcio en conejos en etapa de finalización no mejora las variables productivas, incrementado la digestibilidad de la materia seca, además de que presentan un potencial para mejorar las características de la carne al mantener el pH e incrementar la capacidad de retención de agua, ayudando a mejorar la jugosidad de la carne. Por lo anterior se sugiere continuar con investigaciones sobre el efecto del propionato de calcio en las características de la carne de conejo.

Referencias

1. Adedeji, OA, Osowe, CO. and Folayan, JA (2015) 'Socio-economic characteristic and profitability analysis of rabbit production in Ondo state, Nigeria', *European Journal of Physical Agricultural Sciences*, 3 (3), p10- 19.
2. Simonová, MP, Chrastinová, L, MoJto, J, Laukova, A, Szabóová, R, and Rafay, J (2010) 'Quality of rabbit meat and phyto-additives'. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(3), p161-167. <https://doi.org/10.17221/49/2008-CJFS>
3. Cullere, M, and Dalle Zotte, A (2018) 'Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives', *Meat Science*, 143, p137-146.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.029>

4. Hernández, P, Pla, M, Oliver, MA, and Blasco, A (2000) 'Relationships between meat quality measurements in rabbits fed with three diets of different fat type and content', *Meat Science*, 55(4), p379-384.

[https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00163-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00163-1)

5. Dalle-Zotte, A (2002) 'Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality', *Livestock Production Science*, 75(1), p11-32.

[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00308-6](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00308-6)

6. Zentek, J, Ferrara, F, Pieper, R, Tedin, L, Meyer, W, and Vahjen, W (2013). 'Effects of dietary combinations of organic acids and medium chain fatty acids on the gastrointestinal microbial ecology and bacterial metabolites in the digestive tract of weaning piglets', *Journal of Animal Science*, 91(7), p3200-3210.

<https://doi.org/10.2527/jas.2012-5673>

7. Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.

8. Meineri, G, Cornale, P, Tassone, S, and Peiretti, PG (2010) 'Effects of Chia (*Salvia hispanica* L.) seed

supplementation on rabbit meat quality, oxidative stability and sensory traits', *Italian Journal of Animal Science*, 9(10), p44-49.

<https://doi.org/10.4081/10.4081/ijas.2010.e10>

9. Cañeque, V, and Sañudo, C (2005) 'Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasas) en los rumiantes'. (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, INIA: Madrid).

10. Cert, A, Moreda, W, and Pérez-Camino, M (2000) 'Methods of preparation of fatty acid methyl esters (FAME). Statistical assessment of the precision characteristics from a collaborative trial', *Grasas y Aceites* 51(6), p447-456.

<https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i6.464>

11. Wang, J, Su, Y, Elzo, MA, Jia, X, Chen, S, and Lai, S (2016) 'Comparison of Carcass and Meat Quality Traits among Three Rabbit Breeds', *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(1), p84-89. doi: 10.5851/kosfa.2016.36.1.84

12. Romero, C, Rebollar, PG, Dal Bosco, A, Castellini, C, and Cardinali, R (2011) 'Dietary effect of short-chain organic acids on growth performance, mortality and development of intestinal

- lymphoid tissues in young non-medicated rabbits', *World Rabbit Science*, 19(3) p133-142. <https://doi.org/10.4995/wrs.2011.866>
13. Falcão-e-Cunha, L, Castro-Solla, L, Maertens, L, Marounek, M, Pinheiro, V, and Freire, J (2007) 'Alternatives to antibiotic growth promoters in rabbit feeding: a review', *World Rabbit Science*, 15(3), p127-140. <https://doi.org/10.4995/wrs.2007.597>
14. Trocino, A, Fragkiadakis, M, Radaelli, G, and Xiccato, G (2010) 'Effect of dietary soluble fiber level and protein source on growth, digestion, caecal activity and health of fattening rabbits', *World Rabbit Science*, 18(4), p199-210. <https://doi.org/10.4995/wrs.2010.779>
15. Papatsiros, VG, Christodoulopoulos, G, and Filippopoulos, LC (2012) 'The use of organic acids in monogastric animals (swine and rabbits)', *Journal Cell and Animal Biology*, 6(10), p154-159. DOI: 10.5897/JCAB11.081
16. Uddin, MJ, Islam, KMS, Reza, A, and Chowdhury, R (2014) 'Citric acid as feed additive in diet of rabbit-effect on growth performance', *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 12(1), p 87-90. DOI: 10.22004/ag.econ.209901
17. Celia, C, Cullere, M, Gerencsér, Z, Matics, Z, Tasoniero, G, Dal Bosco, A, and Dalle Zotte, A (2016) 'Effect of pre- and post-weaning dietary supplementation with Digestarom® herbal formulation on rabbit carcass traits and meat quality', *Meat Science*, 118, p89-95. doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.022
18. Hernández, P, Ariño, B, Grimal, A, and Blasco, A. (2006) 'Comparison of carcass and meat characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate', *Meat Science*, 73(4), p645-650. doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.03.007
19. Offer, G, and Trinick, J. (1983) 'On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils', *Meat Science*, 8(4) p245-281. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(83\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(83)90013-X)
20. Geesink, GH, Kuchay, S, Chishti, AH, and Koohmaraie, M. (2006) 'μ-Calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins', *Journal of Animal Science*, 84(10) p2834-2840. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-122>
21. Hulot, F, and Ouhayoun, J (2010) 'Muscular pH and related traits in rabbits: a review', *World Rabbit Science*, 7(1) p15-36. <https://doi.org/10.4995/wrs.1999.378>

22. Pascual, M, Soler, MD, Cervera, C, Pla, M, Pascual, JJ, and Blas, E (2014) 'Feeding programmes based on highly-digestible fibre weaning diets: Effects on health, growth performance and carcass and meat quality in rabbits', *Livestock Science*, 169, p88-95. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.07.007>
23. Zhang, Y, Puolanne, E, and Ertbjerg, P (2021) 'Mimicking myofibrillar protein denaturation in frozen-thawed meat: Effect of pH at high ionic strength', *Food Chemistry*, 338, p128017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128017>
24. Kone, AP, Cinq-Mars, D, Desjardins, Y, Guay, F, Gosselin, A, and Saucier, L (2016) 'Effects of plant extracts and essential oils as feed supplements on quality and microbial traits of rabbit meat', *World Rabbit Science*, 24(2), 107-119. DOI: [10.4995/wrs.2016.3665](https://doi.org/10.4995/wrs.2016.3665)
25. Ouhayoun, J, and Dalle Zotte, A (1996) 'Harmonization of muscle and meat criteria in rabbit meat research', *World Rabbit Science*, 4(4) p211-218. <https://doi.org/10.4995/wrs.1996.297>
26. Wang, C, Matarneh, SK, Gerrard, D, and Tan, J (2021) 'Modelling of energy metabolism and analysis of pH variations in postmortem muscle', *Meat Science*, 182, p108634. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108634>
27. Dalle-Zotte A, and Szendrő Z. (2011) 'The role of rabbit meat as functional food', *Meat Science*, 88(3) p319-331. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.017>

Microbiología diagnóstica en organismos acuáticos y aves silvestres

Celene Salgado Miranda

Correo electrónico:
salgadamiranda@uaemex.mx

**Trabajo presentado en la
Sesión Solemne de Ingreso del
26 de septiembre de 2023**

Palabras clave: VNPI, *Isoospora*, *Eimeria*, hemoparásitos, trucha arcoíris, paseriformes, estrigiformes.

RESUMEN

La Microbiología Veterinaria en organismos acuáticos y aves silvestres permite identificar los microorganismos patógenos que provocan enfermedad. Determinar la etiología de las enfermedades permite establecer el tratamiento, las medidas de control y posible erradicación. En el 2000, en la truticultura nacional, se aisló por primera vez el virus de la necrosis pancreática infecciosa (VNPI) en crías de trucha arcoíris importadas. El VNPI se diseminó rápidamente y en el 2009 se identificó en el 62.5% de las entidades federativas productoras de trucha arcoíris (zona centro y norte del país), con una prevalencia del 11.9%. Las medidas de control establecidas en México lograron disminuir significativamente los casos clínicos del VNPI. En años recientes, en aves paseriformes y en estrigiformes silvestres, nuevas especies de coccidias del género *Eimeria* e *Isoospora* han sido descritas. Asimismo, en aves endémicas y no endémicas de las montañas altas del centro de México, géneros de hemoparásitos han sido identificados.

Introducción

La Microbiología Veterinaria en organismos acuáticos y aves silvestres permite identificar a los microorganismos o agentes patógenos que provocan una infección. De acuerdo con las definiciones propuestas por Casadevall y Pirofski, la infección es el establecimiento de un microorganismo (virus, bacteria, hongo o parásito) en un hospedero (1,2). La infección puede progresar en enfermedad y la enfermedad será el resultado de la cantidad de daño producida en el hospedero (3), así como la respuesta inmune de éste (2). Casadevall y Pirofski, proponen cinco niveles de daño: molecular, celular, tisular, órgano y organismo (2). Caracterizar el nivel de daño provocado, así como aislar e identificar a los microorganismos patógenos, permite establecer estrategias de prevención y control eficaces en las poblaciones animales ante las enfermedades provocadas por estos.

Microbiología diagnóstica en organismos acuáticos

La edición 2022 de “El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Hacia la transformación azul”, expone el papel cada vez mayor de la pesca y la acuicultura en el suministro de

alimentos, nutrición y empleo. A nivel mundial, los alimentos acuáticos proporcionan aproximadamente el 17% de la proteína de origen animal (4) En México, la producción de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) se lleva a cabo en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Puebla, Michoacán, Chihuahua, Hidalgo, Estado de México, Oaxaca y Tabasco. Del 2011 al 2018, el Estado de México se posicionó en los primeros lugares en la producción de trucha arcoíris del país.⁵ La trucha por su volumen se ubicada en el lugar 30 de la producción acuícola y pesquera en México. Sin embargo, por su valor ocupa el lugar 25 (5).

En nuestro país, de 1992 al 2007 existió el Programa Nacional de Sanidad Acuícola (PRONALSA) y la Red de Diagnóstico, junto con otras instituciones y universidades, el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal (CIESA), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), formó parte del PRONALSA y contribuyó significativamente. Una de las actividades llevadas a cabo durante esos años, fueron los programas de vigilancia epidemiológica en las granjas acuícolas del Estado de México, Michoacán, Hidalgo, Veracruz y Puebla.

Durante estos años, los parásitos identificados principalmente en la trucha arcoíris fueron: *Hexamita* sp. (6), *Trichodina* spp., *Gyrodactylus* sp. y *Dactylogyrus* sp. y en bague de canal: *Diplostomum complanatum* (7). En el 2000, se identificó por primera vez en México, el virus de la necrosis pancreática infecciosa (VNPI) en crías de trucha arcoíris importadas (8). Con fines de diagnóstico e investigación, se estandarizó el protocolo establecido por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), que consistió en el cultivo del VNPI en líneas celulares y la identificación del virus por inmunofluorescencia. Coadyuvando en

el diagnóstico y control del VNPI, al ser el primer laboratorio nacional registrado ante la ema (Entidad Mexicana de Acreditación, A. C.).

A pesar de los esfuerzos de todas las instituciones involucradas, el VNPI se diseminó rápidamente y en el 2004, se identificó en crías de trucha arcoíris de granjas reproductoras del Estado de México (9). En el 2009, a partir de un estudio epidemiológico nacional, se identificó el VNPI en el 62.5% de las entidades federativas productoras de trucha arcoíris (zona centro y norte del país), con una prevalencia del 11.9% (Figura 1) (10).

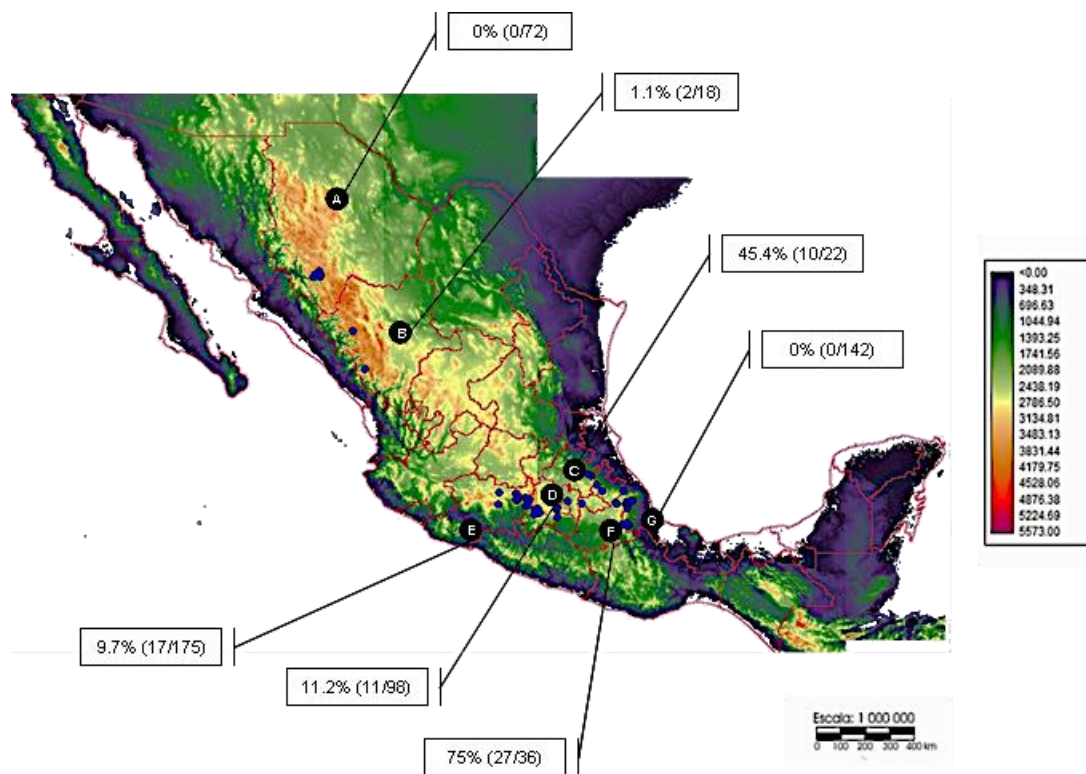


Figura 1. Distribución del VNPI en el 62.5% de las principales entidades nacionales productoras de la especie. Los números en paréntesis corresponden al número de granjas positivas/granjas muestreadas.

Análisis filogenéticos subsecuentes indicaron que los aislamientos mexicanos del VNPI están estrechamente relacionados con las cepas de Estados Unidos de América y Canadá; a partir de la secuencia del gen *VP2*, pertenecen al genogrupo 1 (11).

Posteriormente, en crías de trucha arcoíris se estudió la virulencia de dos aislamientos mexicanos del VNPI. Los resultados obtenidos sugieren que los aislamientos son patogénicos, pero menos virulentos que la cepa Sp. El patrón de secuencia de aminoácidos (motif) de ambos aislamientos mexicanos correspondieron a una enfermedad subclínica. Sin embargo, la morbilidad acumulada observada en campo en los lotes de trucha arcoíris, sugiere que otros factores juegan un papel en la virulencia (12). Asimismo, en el 2010 se identificaron aislamientos del género *Aeromonas* obtenidos a partir de trucha arcoíris de cultivo, provenientes de diversas granjas de México, que fueron identificados como *A. hydrophila*, *A. salmonicida* y *Aeromonas* spp (13).

Microbiología diagnóstica en aves silvestres

En el mundo existen 10,721 especies de aves, en México se registran 1,124 (10.6% del total) (14) y de ellas, 115 son

endémicas (15). Los passeriformes, son un orden de aves que abarca más de la mitad de las especies de aves del mundo. Por lo común, a los passeriformes se les conocen como aves o pájaros cantores (16). Hasta 2013 no había reportes de coccidias en las aves passeriformes de México (17). A partir de estudios llevados a cabo en el Parque Ecológico Ejidal de Cacalomacán, ubicado en el Parque Nacional del Nevado de Toluca y en el Parque Ecoturístico Corral de Piedra, localizado en el municipio de Amanalco de Becerra, Estado de México, nuevas especies de coccidias han sido identificadas. Las coccidias son parásitos protozoarios del filo Apicomplexa. Las coccidias infectan el intestino de mamíferos, aves, reptiles y peces (18). En los dos sitios de muestreo antes mencionados, aves silvestres principalmente passeriformes fueron capturadas por medio de redes de niebla. Después de colectar una muestra de heces, las aves fueron liberadas. Las heces se colocaron en viales con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) al 2.5% en proporción 1:5 (v/v) (19). Posteriormente, los ooquistes esporulan y liberan la fase infectante, los esporozoitos (20). En una muestra de heces con ooquistes

esporulados, por medio de morfometría se determina la especie de coccidia (19). A la fecha, se han identificado siete especies nuevas de coccidias en aves silvestres: *Isospora celata* en el Chipe Oliváceo (*Leiothlypis celata*) (21), *Isospora cardellinae* en el Chipe Rojo (*Cardellina rubra*) (22), *Eimeria atlapetesi*, en el Rascador Gorra Canela (*Atlapetes pileatus*) (23), *Isospora toxostomai* en el Cuicacoche Pico Curvo (*Toxostoma curvirostre*) (24), *Eimeria aegoliusia* en el tecolote afilador (*Aegolius acadicus*) (25), *Isospora phainopepla* en el Capulinerio Negro (*Phainopepla nitens*) (26) e *Isospora dipperia* en el Mirlo Acuático Norteamericano (*Cinclus mexicanus*) (27).

En otro estudio realizado en aves endémicas y no endémicas de las montañas altas del centro de México, se identificaron los siguientes hemoparásitos: *Haemoproteus* spp. (14.0%), *Leucocytozoon* spp. (12.1%) y microfilarias (0.6%). Se observaron seis aves con coinfecciones, lo que representa el 3.8% (6/157) de todas las aves infectadas. Las coinfecciones se presentaron en aves endémicas de dos familias (Turdidae y Passerellidae). Una triple coinfección, *Haemoproteus* spp./*Leucocytozoon* spp./microfilaria se encontró en dos individuos de Zorzal Mexicano (*Catharus occidentalis*) (Figura 2) (28).

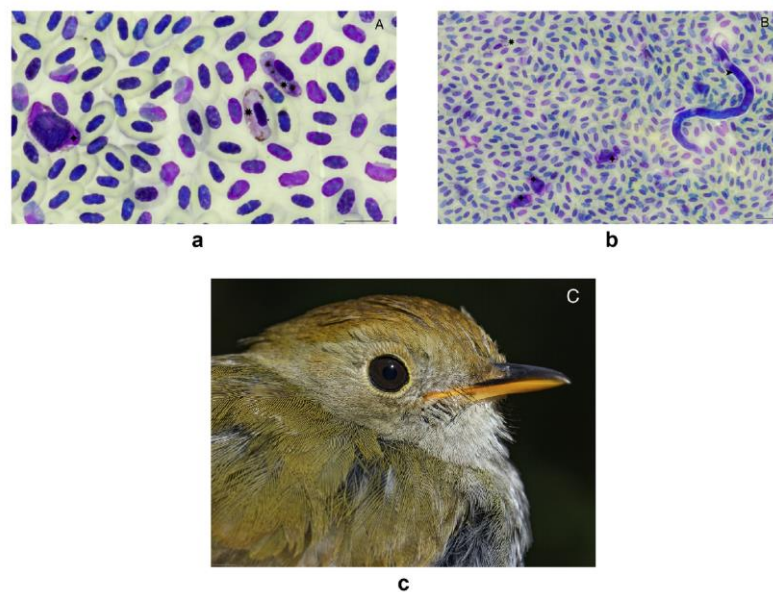


Figura 2. Triple coinfección, *Haemoproteus* spp./*Leucocytozoon* spp./microfilaria en *Catharus occidentalis*. (A). *Leucocytozoon* spp. (✦) y *Haemoproteus* spp. (✱). (B). Microfilaria (▶), *Leucocytozoon* spp. (✦) y *Haemoproteus* spp. (✱). (C). Individuo de *Catharus occidentalis* infectado. Barra de escala: 10 µm.

Conclusión

La acuicultura tiene gran potencial para alimentar y nutrir a la población mundial, por lo que su crecimiento debe ser sostenible. La Microbiología Veterinaria es esencial para la vigilancia epidemiológica y la investigación, con el fin de mantener el estado de salud y conservación de los organismos acuáticos y aves endémicas del altiplano mexicano. Las enfermedades de etiología bacteriana, viral y parasitaria pueden provocar pérdidas económicas significativas en la producción acuícola nacional. Amplio y profundo conocimiento de las enfermedades, la implementación de técnicas diagnósticas estandarizadas y programas de vigilancia epidemiológica se traduce en mayores ganancias para el productor, para el sector acuícola y para el país. Los estudios microbiológicos en las poblaciones de aves silvestres de México son pocos, por lo que deben incrementarse. Con base en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15: Vida de Ecosistemas Terrestres, es necesario “adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y proteger las especies amenazadas y evitar su extinción”, por esta razón, estudiar el estado de salud

de estas poblaciones en México es de suma importancia.

Referencias

1. Casadevall A y Pirofski L. (1999): *Host-pathogen interactions: redefining the basic concepts of virulence and pathogenicity*. Infection and Immunity, 67(8):3703-3713.
2. Casadevall A y Pirofski L. (2003): *The damage-response framework of microbial pathogenesis*. Nature Reviews Microbiology, 1(1):17-24.
3. Soriano-Vargas E, Salgado-Miranda C, Suárez-Güemes F y Trigo TFJ. (2006): *Patogenia microbiana: conceptos básicos en la interacción hospedador-microorganismo*. Veterinaria México, 36(4):467-477.
4. FAO. (2022): *Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Roma, FAO.
5. CONAPESCA. (2020): *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. Sinaloa, México.
6. Ortega SC, Salgado MC, Romero FV y Vega CLF. (1997): *Hexamitiasis en trucha arco iris*. Memorias del IV Congreso Nacional de Parasitología Veterinaria. Veracruz, Veracruz
7. Ortega SC, Salgado MC, Romero FV y Vega CLF. (1997): *Diplostomiasis en*

bagre de canal. Memorias del IV Congreso Nacional de Parasitología Veterinaria. Veracruz, Veracruz.

8. Ortega SC, Montes de Oca R, Groman D, Yason C, Nicholson B y Blake S. (2002): *Case report: Viral infectious pancreatic necrosis in farmed rainbow trout from Mexico*. Journal of Aquatic Animal Health, 14(4):305-310.

9. Salgado-Miranda C. (2004): *Prevalencia del virus de la necrosis pancreática infecciosa en granjas de reproducción de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en el Estado de México (tesis de maestría)*. Toluca (Estado de México) México: Universidad Autónoma del Estado de México.

10. Salgado-Miranda C, Corona-Barrera E, Marín GRA, Palomares SME, Jurado CM, Ortega SC y Soriano-Vargas E. (2009): *Prevalence and distribution of infectious pancreatic necrosis virus in rainbow trout Oncorhynchus mykiss from commercial farms in Mexico*. Abstracts World Aquaculture 2009. Veracruz, Mexico.

11. Salgado-Miranda C, Rojas-Anaya E, García-Espinosa G y Loza-Rubio E. (2014): *Molecular characterization of the VP2 gene of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) isolates from*

Mexico. Journal of Aquatic Animal Health, 26(1):43-51.

12. Salgado-Miranda C, Rojas-Anaya E, García-Espinosa G y Loza-Rubio E. (2020): *Virulence of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) isolates from Mexico*. Journal of Veterinary Medical Science, 82(3):394-398.

13. Salgado-Miranda C, Palomares E, Jurado M, Marín A, Vega F y Soriano-Vargas E. (2010): *Isolation and distribution of bacterial flora in farmed rainbow trout from Mexico*. Journal of Aquatic Animal Health, 22(4):244-247.

14. CONABIO. (2022): Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/aves-de-mexico> (15 de febrero de 2023).

15. Townsend PA, Navarro-Sigüenza AG, Martínez-Meyer E, Cuervo-Robayo AP, Berlanga H y Soberón J. (2015): *Twentieth century turnover of Mexican endemic avifaunas: Landscape change versus climate drivers*. Science Advances, 1(4):e1400071.

16. Ricklefs RE. (2012): *Species richness and morphological diversity of passerine birds*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the

United States of America, 109(36):1482-1487.

17. Berto BP y Lopes CWG. (2013): *Distribution and dispersion of coccidia in wild passerines of the Americas*. In: *Birds. Evolution and behavior, breeding strategies, migration, and spread of disease*.

Ruiz L. and Iglesias F., editors. Nova Science Publishers, Inc., New York.

18. Cole RA y Friend M. (1999): *Parasitic Diseases. En: General Field Procedures and Diseases of Birds. Field Manual of Wildlife Diseases*. Editado por: Friend M y Franson C. USGS U.S. Geological Survey, Washington D.C, USA.

19. Duszynski DW y Wilber P. (1997): *A guideline for the preparation of species descriptions in the Eimeriidae*. Journal of Parasitology, 83:333-336.

20. Taylor MA, Coop RL y Wall RL. (2007): *Veterinary Parasitology*. 3a ed. Blackwell Publishing, Reino Unido.

21. Pereira BB, Medina JP, Salgado-Miranda C, García-Conejo M, Krzysztof JM, Wilson GLC y Soriano-Vargas E. (2014): *Isospora celata n. sp. (Apicomplexa: Eimeriidae) from the orange-crowned warbler Oreothlypis celata (Say) (Passeriformes:*

Parulidae) in Mexico. Systematic Parasitology, 89(3):253-257.

22. Salgado-Miranda C, Medina JP, Zepeda-Velázquez AP, García-Conejo M, Galindo-Sánchez KP, Janczur MK y Soriano-Vargas E. (2016): *Isospora cardellinae n. sp. (Apicomplexa: Eimeriidae) from the red warbler Cardellina rubra (Swainson) (Passeriformes: Parulidae) in Mexico*. Systematic Parasitology, 93(8):825-830.

23. Soriano-Vargas E, Salgado-Miranda C, Zepeda-Velázquez AP, Medina JP, Janczur MK, González-Gómez M, Flores-Valle IT, Berto BP y Lopes CWG. (2017): *Eimeria atlapetesi nom. nov., a replacement name for Eimeria pileata Soriano-Vargas et al., 2015 (Apicomplexa: Eimeriidae), preoccupied by Eimeria pileata Straneva and Kelley, 1979 (Apicomplexa: Eimeriidae), with observations on histopathology and phylogenetic analysis*. Zootaxa, 4227(1):144-150.

24. Salgado-Miranda C, Medina JP, Sánchez-Jasso JM, García-Albarrán M y Soriano-Vargas E. (2019): *Isospora toxostomai n. sp. (Apicomplexa: Eimeriidae) from the curved-billed thrasher Toxostoma curvirostre (Swainson) (Passeriformes: Mimidae) at the Central highlands of*

Mexico. Systematic Parasitology, 96(9):789-793.

25. Medina JP, Medina-Valdez H, Sánchez-Jasso JM, García-Albarrán M, Salgado-Miranda C y Soriano-Varga E. (2019): *Eimeria aegoliusia* n. sp. (Sporozoa: Eimeriidae) from the northern saw-whet owl *Aegolius acadicus* (Gmelin) (Strigiformes: Strigidae) in Mexico. Systematic Parasitology, 96(4):521-526.

26. Salgado-Miranda C, García-Albarrán MA, Duszynski DW y Soriano-Vargas E. (2019): *Isospora phainopepla* n. sp. (Apicomplexa: Eimeriidae) from *Phainopepla nitens* (Swainson) (Passeriformes: Ptiliognatidae) in the Joshua Tree National Park, USA. Systematic Parasitology, 96(9):795-798.

27. Salgado-Miranda C, García-Albarrán MA y Soriano-Vargas E. (2020): *Isospora dipperia* n. sp. (Apicomplexa: Eimeriidae) from the American dipper *Cinclus mexicanus* Swainson (Passeriformes: Cinclidae) in Yosemite National Park, USA. Systematic Parasitology, 97(3):315-319.

28. Villalva-Pasillas D, Medina JP, Soriano-Vargas E, Martínez-Hernández DA, García-Conejo M, Galindo-Sánchez KP, Sánchez-Jasso JM, Talavera-Rojas M y Salgado-Miranda C. (2020): Haemoparasites in endemic and non-endemic passerine birds from central Mexico highlands. International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife, 11:88-92.