

Análisis de Investigaciones Agroforestales, Veterinarias y en Estadística



Fidel Avila Ramos
Sergio Martínez González
Editores

Análisis de Investigaciones Agroforestales, Veterinarias y en Estadística

**Fidel Avila Ramos
Sergio Martínez González
Editores**

Primera Edición 2023.

ABANICO ACADÉMICO-AMATE EDITORIAL

La presentación y disposición en conjunto de la obra:

Análisis de Investigaciones Agroforestales, Veterinarias y en Estadística en su primera edición, es publicada en versión electrónica con 281 páginas, después del proceso de arbitraje nacional e internacional. De acuerdo a la Ciencia Abierta puede ser reproducida o transmitida, mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico, con fines académicos y sin fines de lucro.

Fidel Avila Ramos
Sergio Martínez González
Editores

Todos los derechos reservados a:
Abanico Académico. abanicoacademico.mx
RFC MAGS690517979
Mina 262, Colonia Centro. Tepic, Nayarit, México.
CP. 63000. Interior CENAYSIGLO21.
+52 311 1221626

ABANICO ACADÉMICO-AMATE EDITORIAL

Guadalajara, México, 2023.

Primera edición

ISBN: 978-607-59961-5-8

DOI: <https://doi.org/10.21929/abanico/2023.1>

EDITORES

Fidel Avila Ramos



Doctor por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillos. Profesor de Tiempo Completo en el Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato, México. Reconocimiento Perfil PRODEP-SEP desde el año 2016 y del Sistema Nacional de Investigadores-CONACYT de México desde el 2021-2025. Editor Asociado Abanico Veterinario. Factor Total del Investigador-AI 0.5679

Sergio Martínez González



Doctor por la Universidad de Colima, México. Profesor Investigador de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Nayarit, México. Cuenta con Reconocimiento al Perfil PRODEP-SEP desde 2005 y del Sistema Nacional de Investigadores-CONACYT de México de 2018 al 2024. Estancia Posdoctoral en la Universidad Arkansas USA del 2019 al 2020. Editor de la revista Abanico Veterinario. Factor Total del Investigador-AI 1.0867

CUERPO DE ARBITRAJE

Mtra. Estefanía Aguirre Arroyo	Universidad de Guanajuato
Dr. Carlos Martín Aguilar Trejo	Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)
Dr. Fidel Avila Ramos	Universidad de Guanajuato
Dr. Francisco Aguilar Romero	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Mtro. Iván Isaías Ávalos Rosario	Universidad de Guelph
Dr. Javier Piloni Martini	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Dr. Jesús Hernández Ruíz	Universidad de Guanajuato
Dr. José B. Castillo Caamal	Universidad Autónoma de Yucatán
Dr. José Carmen Ramírez Ramírez	Universidad Autónoma de Nayarit
Dr. José Luis Zárate Castrejón	Universidad de Guanajuato
Dr. José Luís Ponce Covarrubias	Universidad Autónoma de Guerrero
Dra. Juana Fonseca González	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Dr. Lenin Rangel López	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Dra. Lilia Mexicano Santoyo	Universidad de Guanajuato
Dra. Luz Elena Alcaraz Sosa	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Maricela Ruiz Ortega	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mtro. Mauricio Arredondo Castro	Universidad de Guanajuato
Dr. Miguel Ruiz Albarrán	Universidad Autónoma de Tamaulipas
Dr. Oscar Guadalupe Barrón Bravo	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Dra. Talina Olivia Martínez Martínez	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Dra. Yuridia Bautista Martínez	Universidad Autónoma de Tamaulipas



Presentación

En la actualidad, la publicación de artículos científicos a nivel mundial supera tres millones anualmente, a través de ellos, se dan a conocer los resultados de las investigaciones de una manera clara y precisa en un área puntual del conocimiento o se difunden métodos experimentales modernos. Para lograrlo es necesario conocer la problemática expuesta que en los antecedentes de las publicaciones es limitada. Por lo tanto, es necesario fortalecer el conocimiento y los organizadores del V Congreso Internacional Abanico Veterinario, Agroforestal, Pesquero y Acuícola 2023 se han dado a la tarea de realizar un libro de revisión y análisis de las investigaciones presentadas. Estos capítulos del libro abordan la problemática a la que se enfrentan los investigadores y se realiza una proyección general del tema con una propuesta contenida en material resumido, específico, inédito y en el idioma español que podrá apoyar a las nuevas generaciones de investigadores jóvenes y experimentados en el área.

Agradecimientos

A todos los autores y revisores que han sumado esfuerzos para lograr la publicación de éste libro en las áreas de Agroforestal, Veterinaria y en Estadística en su primera edición 2023.



Índice general

Investigaciones Agroforestales.....	6
Agua electrolizada: producción y usos.....	7
<i>Tarsicio Medina Saavedra, Lilia Mexicano Santoyo, Adriana Mexicano Santoyo, Tania Patricia Castro Jacome, María Isabel García Vieyra, Damián Salvador Rangel Campos</i>	
Elaboración de cerveza artesanal con miel de abeja.....	17
<i>César Octavio Ibarra Gudiño, Wilbert Alfredo Flores del Real, Rosa Isela Lepe Aguilar, Carlos Omar De la Cruz Moreno, Juan José Fernando Borrayo González</i>	
Marco conceptual de la sustentabilidad de los recursos naturales.....	25
<i>Rubén Cornelio Montes Pérez</i>	
Potencial de los microorganismos de montaña para usarlos como probióticos...	44
<i>Tarsicio Medina Saavedra, Lilia Mexicano Santoyo, Gabriela Arroyo Figueroa, Carlos Herrera Mendez, Emmanuel Pérez Hernández, Juan Picazo Ramírez</i>	
Potencial bioenergético de <i>Agave cupreata</i>	53
<i>Vianey Moreno Dimas, Dolores Vargas Álvarez, Antonio Cortés Guzmán, Roxana Reyes Ríos, Flaviano Godínez Jaime</i>	
Presencia de áfidos en cultivos tropicales.....	60
<i>Miguel Ángel Ramírez Guillermo, Sabel Barrón Freyre, Mario Rodríguez Cuevas, Dante Sumano López, Izamar López Domínguez</i>	
Investigaciones en Estadística.....	70
Cálculo de la potencia de la muestra.....	71
<i>Bladimir Peña Parra, Juan José Fernando Borrayo, Sergio Martínez González, Carlos de la Cruz Moreno, Socorro Salgado Moreno, Francisco Escalera Valente</i>	
Métodos estadísticos y su aplicación en las investigaciones científicas.....	81
<i>Magaly Herrera Villafranca, Yolaine Medina Mesa, Mildrey Torres Martínez, Yaneily García Ávila, Sará Gómez Camacho</i>	
Investigaciones Veterinarias.....	94
Efecto del ácido acetilsalicílico en vacas frescas de doble propósito en condiciones tropicales.....	95
<i>Miguel Ángel Lammoglia Villagómez, Jorge Luis Chagoya Fuentes, Daniel Sokani Sánchez Montes, Amalia Cabrera Núñez, Javier Cruz Huerta Peña, Edelmira Jácome-Sosa</i>	
Efecto del estrés en ovinos durante el proceso de matanza.....	102
<i>Enrique Daniel Archundia Velarde, Gisela Velázquez Garduño, Jorge Osorio Avalos, María Mariezcurrena Berasain, Lizbeth Guadalupe Verduzco León</i>	
El potencial uso de la herbolaria en la medicina veterinaria.....	116
<i>Sergio Martínez González, Fidel Avila Ramos, Mauricio Arredondo Castro, Gerardo Uriel Bautista Trujillo, Carlos Enrique Ibarra Martínez, Carlos Alfredo Carmona Gasca</i>	
Enteroparasitosis en caninos y felinos.....	127
<i>Socorro Marisa Salgado Moreno, Adriana Elizabeth Sesate Flores, Ruth Baudelía Vironchi Lujan, Carlos Alfredo Carmona Gasca, Raúl Hassan Adad Figueroa, Sergio González Martínez, Bladimir Peña Parra</i>	



Evaluación del bienestar animal durante el entrenamiento de caninos.....	142
<i>Blayra Maldonado Cabrera, Guadalupe López Robles, Ramón Robles Zepeda, Manuel Nieblas López, Reyna Osuna Chávez, Víctor Alcaraz Serrano</i>	
Identificación in silico de la red de interacción de factores de virulencia PLD y CP40 de <i>Corynebacterium pseudotuberculosis</i> aislado mexicano 2JL.....	155
<i>Roberto Montes de Oca Jiménez, María Carla Rodríguez Domínguez, Martha Elba Ruiz Riva Palacio</i>	
La enfermedad de Chagas: problemática emergente en el noroeste de México.	168
<i>Paulina Haro Álvarez, Gilberto López Valencia, Gerardo Medina Basulto, Enrique Trasviña Muñoz, Julio Alfonso Mercado Rodríguez, Carlomán Herrera Ramírez</i>	
Nutrición y alimentación de las abejas melíferas.....	180
<i>Mauricio Arredondo Castro, Diana Angélica Gutiérrez Arenas, Carlos Alfredo Carmona Gasca, Henry Loeza Concha, Arturo Ángel Hernández, Fidel Avila Ramos</i>	
Parámetros genéticos en características de conformación en cabras lecheras...	190
<i>Alma Arianna Lechuga Arana, Vielka Jeanethe Castañeda Bustos, César Andrés Ángel Sahagún, Mauricio Valencia Posadas</i>	
Parásitos en bovinos de unidades de producción familiar de Llera de Canales, Tamaulipas.....	203
<i>Oscar Guadalupe Barrón Bravo, Ricardo Avilés Ruiz, Rubén Darío Garza Cedillo, César Andrés Ángel Sahagún</i>	
Parásitos gastrointestinales en bovinos de la Costa Sur de Jalisco, México.....	219
<i>Shasta Danaé Chávez Radillo, Ricardo Vicente Pérez, Pedro Fabián Grifaldo Alcántara, Enrique Octavio García Flores, Ricardo Martínez Martínez, Ulises Macías Cruz</i>	
Probióticos acelulares en la salud animal.....	229
<i>Pamela Izaret Pérez Martínez, Cristal Dafne Lonngi Sosa, Hugo Ramírez Álvarez, Cynthia González Ruiz</i>	
Relación entre el estado metabólico y funcionamiento del eje reproductivo del cerdo.....	239
<i>Juan Manuel Romo Valdez, Ignacio Peralta Gómez, Laura Francisca Espinoza Aguirre, Jesús José Portillo Loera, Ana Mireya Romo Valdez, Javier Alonso Romo Rubio</i>	
Trazabilidad y calidad de la carne de res, su importancia en la salud pública.....	257
<i>Paulina Alejandra Ávila Baylon, Ana Isabel Mireles Arriaga, Griselda Maki Díaz, Carlos Häubi Segura, Theodor Duifhuis Rivera, José Antonio Hernández Marín</i>	
Úlcera gástrica en caballos cuarto de milla, manejo y práctica alimenticia.....	267
<i>Heriberto Rodríguez Frausto, Fabiola Rochín Berumen</i>	



Investigaciones Agroforestales



Agua electrolizada: producción y usos

Tarsicio Medina Saavedra¹, Lilia Mexicano Santoyo^{2*}, Adriana Mexicano Santoyo³, Tania Patricia Castro Jacome⁴, María Isabel García Vieyra¹, Damián Salvador Rangel Campos¹

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Privada Arteaga s/n, Col. Centro, C.P. 38900, Salvatierra, Gto. ²División de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Roque, Km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, C. P. 38110, Celaya, Gto. ³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil #1301 Pte. A.P. 175 C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas. ⁴Instituto Tecnológico de Tepic. Av. Tecnológico 2555, Colonia Lagos del Country C.P. 63175 Tepic Nayarit México. tarsicioms@hotmail.com, lilia_lasalle@hotmail.com*, tania.cjac@gmail.com, isabel.garcia@ugto.mx, ds.rangelcampos@ugto.mx

Introducción

En la actualidad existe una gran diversidad de desinfectantes químicos enfocados en reducir la población de patógenos en productos frescos como son las hortalizas, frutas y verduras. Los más utilizados: dióxido de cloro, ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno, ozono, entre otros. Sin embargo, se ha reportado que presentan mínimos efectos de inactivación de patógenos en vegetales. El agua electrolizada oxidante, es una nueva tecnología que podría dar respuesta a esa búsqueda de un control de plagas más eficiente, de bajo costo y amigable con el medio ambiente. En este sentido, el agua electrolizada desarrollada por primera vez en Rusia para la regeneración de agua y utilizada ampliamente en Japón, ha llamado la atención de los científicos modernos en las últimas dos décadas aumentando las publicaciones sobre el tema y su uso a nivel industrial, es asequible y no presenta posibles riesgos para la salud humana al ser aplicada en alimentos. Además, es un tratamiento que se aplica a temperatura ambiente y se evita el uso de calor.

Esta agua exhibe alta eficiencia desinfectante en la supresión de las infecciones transmitidas por el aire causadas por microorganismo patógenos en cobertizos de aves de corral. Así mismo, ha mostrado tener actividad antimicrobiana en una gran variedad de microorganismos patógenos como *Escherichia coli* (*E. coli*), *Salmonella Typhimurium* y *aureus*, *Listeria monocytogenes*, presentes en las cáscaras de huevo, productos avícolas, en frutas y vegetales (zanahorias, lechuga, fresas, pepino y tomates) sin afectar su aspecto o textura. Las aplicaciones antimicrobianas del agua electrolizada no se limitan a la industria alimentaria y agrícola, pueden aplicarse en superficies de los hospitales, computadoras y equipos para diagnóstico. Por lo tanto, es aplicada en diferentes los campos de la medicina, el sector pecuario e industria de los alimentos. En este documento se revisa el enfoque de los alimentos debido a la importancia, es vital conocer su forma de producción para el control de patógenos en diversas fuentes alimentarias.



Producción de agua electrolizada

El agua electrolizada es producida por electrólisis de soluciones diluidas de cloruro de sodio (NaCl) o cloruro de potasio (KCl) en una celda llamada celda de electrólisis, constituida por dos electrodos; uno positivo (ánodo) y otro negativo (cátodo), divididos por una membrana diafragmática y a la que se le induce corriente eléctrica. Durante la electrólisis, los iones cargados negativamente (OH^- y Cl^-) se mueven hacia el ánodo donde se liberan electrones y se generan, ácido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCl^-), ácido clorhídrico (HCl), oxígeno (O_2) y cloro gaseoso (Cl_2). Por otra parte, los iones cargados positivamente (Na^+ y H^+) se mueven hacia el cátodo donde ellos aceptan electrones produciendo hidróxido de sodio (NaOH) e hidrógeno (H_2).

Al final del proceso de electrólisis dos soluciones son generadas (Figura 1). En el ánodo es producida una solución ácida conocida como agua electrolizada ácida o agua electrolizada oxidante con un pH de 2-3, un potencial redox (E_{redox}) > 1100 milivolts (mV) y una concentración de cloro libre de 10-90 ppm. Mientras que en el cátodo es producida una solución alcalina llamada agua electrolizada alcalina o agua electrolizada reductora con un pH de 10-11.5 y un E_{redox} de -800 a -900 mV.

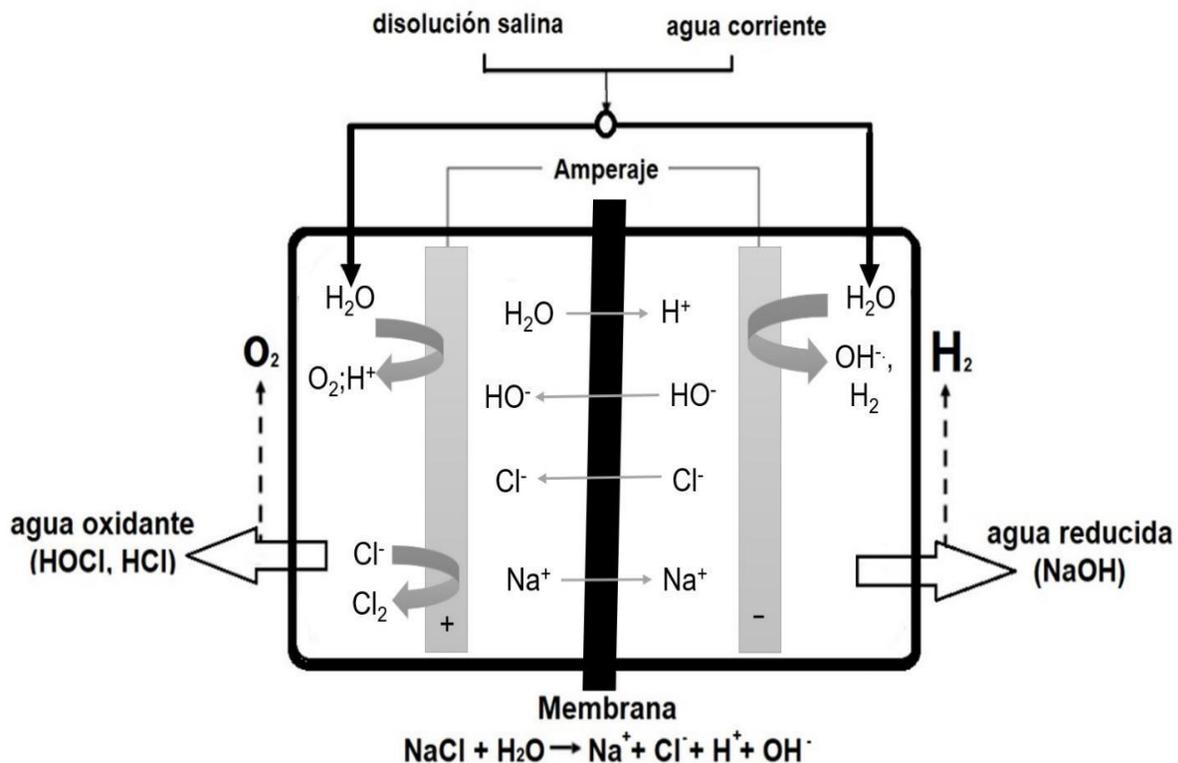


Figura 1. Producción de agua electrolizada oxidante y reducta.



Propiedades y tipos de agua generada

El agua electrolizada presenta actividad antimicrobiana, dicha actividad está relacionada con parámetros de pH, concentración de cloro libre y E_{redox} . Se ha reportado que el pH juega un papel importante en la actividad antimicrobiana ya que este parámetro puede determinar la especie de cloro libre, ya sea ácido hipocloroso (HClO), ion hipoclorito (ClO^-) y el cloro (Cl_2) presente en el agua electrolizada, además de ayudarnos a clasificarla en oxidante, reductora y neutra según el rango de pH. El agua electrolizada oxidante con pH por debajo de 3 ha mostrado tener efecto bactericida en muchas bacterias patógenas en condiciones “*in vitro*”, siendo efectiva en la limpieza y desinfección de superficies. Su fuerte actividad antimicrobiana se debe a su alto E_{redox} , su pH bajo y a las especies de cloro presentes (HClO, Cl_2 y ClO^-).

Por su parte, el agua electrolizada reductora tiene un pH mayor de 11, debido a su poder reductor puede ser utilizada para eliminar la suciedad y grasa de las superficies, como un agente pre-lavado en vegetales y como descontaminante en el canal de aves. Además, se ha reportado que tiene efecto bactericida, debido a su alto E_{redox} , lo que le permite reducir los radicales bacterianos libres y provocar modificaciones en el flujo metabólico y la producción de adenosín trifosfato (ATP), también se ha sugerido que podría causar la inhibición de la fosforilación oxidativa, interrupción de la síntesis de proteínas, inhibición la oxidación de la glucosa y de la absorción de oxígeno, así como causar daño en las membranas bacterianas.

El agua electrolizada Neutra con pH 7 y E_{redox} de 700 mV puede formarse al combinar las soluciones formadas (agua oxidante con agua reductora). También puede generarse mediante la electrólisis de la solución de NaCl en una celda de electrolisis sin membrana debido a que el HCl formado en el ánodo neutraliza el NaOH producido en el cátodo. Se ha reportaron que el agua electrolizada neutra puede dañar la membrana externa de las condiciones *in vitro*. A un pH cerca de la neutralidad (5.0-6.5) la especie predominante es el ácido hipocloroso (HClO), a un pH más alto el HClO se disocia a ClO^- . A un pH ≤ 3 el HClO se disocia y las especies predominante son Cl_2 , un gas volátil a temperatura ambiente y HClO. A medida que incrementa el pH, el Cl_2 reacciona con el agua para formar HClO, alcanzando el máximo porcentaje a un pH aproximado de 4. A pH de 3-6, la principal forma es HClO y al incrementar el pH entre 8 y 10, la principal forma es ClO^- .

Estabilidad, ventajas y desventajas del agua electrolizada

Se ha evaluado el efecto de las condiciones de almacenamiento del agua sobre las propiedades físicas y químicas del agua electrolizada oxidante durante un periodo de 120 días. Los autores reportan una disminución del 81% del cloro residual y 47% de oxígeno disuelto en el agua durante un periodo de almacenamiento de 12 días. En condiciones cerradas y en un periodo de almacenamiento de 21 días, existe una menor pérdida de



Cl₂ (24%) y O₂ (21%). En los resultados se concluye que no hay una disminución en los valores de pH, E_{redox}, conductividad y concentración de iones cloruro durante el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, la concentración de cloro residual y el O₂ del agua electrolizada disminuyen durante el almacenamiento.

Se ha reportado que la estabilidad del agua electrolizada depende de las condiciones de almacenamiento, concluyendo que las condiciones cerradas y en oscuridad son las más adecuadas para que el agua conserve sus valores de potencial de reducción de la oxidación (ORP), ACC y pH más estables. El control de enfermedades producidas por patógenos en frutas y vegetales se realiza normalmente con la aplicación repetida y constante de químicos, que presentan ingredientes activos tóxicos para el aplicador y que impactan el medio ambiente, lo que obliga al uso de implementos de protección personal y ambiental. Las ventajas con las que cuenta el agua electrolizada es que tiene un impacto negativo menor en el medio ambiente, se puede preparar *in situ*, después del gasto inicial en el equipo, los gastos operativos son mínimos, no irrita los ojos, la piel, ni la membrana mucosa haciéndola segura durante su manejo, su producción es simple, no genera resistencia en los microorganismos, no afecta la calidad sensorial de los alimentos, cuando entra en contacto con agua corriente vuelve a convertirse en agua ordinaria, por tales atributos puede desecharse de forma segura.

El agua presenta algunas desventajas como es su costo inicial elevado, la reducción de la concentración de cloro libre con el paso del tiempo y su eficiencia se reduce con la presencia de materia orgánica, puede causar fitotoxicidad en algunas especies de plantas ornamentales si se aplica tres veces por semana, o si contiene altas concentraciones de cloro. Además, puede causar corrosión en algunos metales. Debido a la disponibilidad de publicaciones científicas que muestran evidencias del agua electrolizada en el tratamiento antimicrobiano sobre productos alimenticios, la comercialización de generadores de agua electrolizada está cobrando interés en la industria electrónica. Hay muchas empresas que en la actualidad están tratando de diseñar un generador de agua electrolizada que pueda usarse tanto para fines de investigación como comercializado para consumo general. Otras tratan de diseñar un generador de agua electrolizada que pueda usarse tanto para fines de investigación o comercializado para consumo general (Viking pure™, Envirolite®, RVD Corporation, EcoLogic Solutions Inc. y Hoshizaki Electric Co. Ltd).

Mecanismo de acción

En los últimos años, el enfoque de la investigación sobre el agua electrolizada se ha enfocado hacia dos objetivos principales: la determinación del mecanismo acción sobre su actividad antimicrobiana y la comparación de diferentes tipos de aguas electrolizadas (oxidante, reductora y neutra) para saber cuáles se pueden utilizar y en que qué producto



alimenticio. También se discute que el agua electrolizada ácida fuerte puede cambiar la estructura secundaria de la proteína en la carne. Para ello se propone agua electrolizada ligeramente ácida o neutra. Por otro lado, la calidad de las verduras y frutas no se ve tan afectada por el tratamiento del agua electrolizada. Hay muchos artículos de investigación que discuten los posibles mecanismos de acción del agua electrolizada dependiendo de cuál de los tipos se aplique ya que dependen de factores como el pH, concentración de cloro disponible y E_{redox} para ejercer sus efectos anti-microbianos.

En este sentido, las evaluaciones de la eficacia del agua electrolizada en la desinfección y reducción o eliminación de patógenos han reportado que el E_{redox} podría ser el principal factor que contribuye al efecto antimicrobiano. Al tratar células de *E. coli* O157:H7 con agua electrolizada con tres valores diferentes de E_{redox} y con mismo valor de pH y concentración de cloro libre observaron que a mayor valor de E_{redox} , mayor eficiencia en la inactivación bacteriana sugiriendo que el E_{redox} evita que el microorganismo ingrese a las células de la fruta, interrumpe su síntesis de proteínas. Es decir que puede causar estrés oxidativo provocando la formación de puentes disulfuro, modificando a su vez la estructura y función de las proteínas. Este último efecto, a su vez, forma derivados tóxicos y conduce a la destrucción de enzimas como resultado del consiguiente desequilibrio del metabolismo.

Se ha reportado que la concentración de cloro es un factor importante en la reducción de bacterias, levaduras, mohos y coliformes, ya que, al incrementar la concentración de cloro libre, la reducción de los microorganismos se incrementa. En el caso de las bacterias que pueden crecer en un rango de pH de 4-9, un pH bajo puede reducir el crecimiento bacteriano, logrando que las células bacterianas sean más sensibles al cloro activo. Por otra parte, E_{redox} altos pueden causar la modificación de flujos metabólicos y a su vez, afectar la producción de ATP, debido al cambio en el flujo de electrones en las células, permitiendo así, la transferencia del HOCl al interior de la célula.

Se ha propuesto que el mecanismo de acción es debido a las especies HOCl y OCl⁻ formadas durante el proceso de electrolisis, ya que contribuyen a la inactivación de las células microbianas. El OCl⁻ ionizado no puede penetrar la membrana celular microbiana debido a la existencia de una capa bilipídica hidrófoba y algunas estructuras protectoras de la pared celular. Adicionalmente, la membrana celular de las bacterias se encuentra cargada negativamente, ocasionando que los iones OCl⁻ puedan ser rechazados. Se ha sugerido que el mecanismo de desinfección por el OCl⁻ se debe a la ruptura o desintegración de la pared y membrana celular microbiana. El OCl⁻ inactiva las proteínas funcionales localizadas en la membrana, teniendo así, una pobre acción germicida y una débil acción oxidante solo por la parte externa de la célula. Por otra parte, el HOCl penetra la bicapa lipídica de la membrana por difusión pasiva debido a su carga neutra y su



tamaño. De esta manera, el HOCl ataca a la célula microbiana en el interior y exterior de la célula, acelerando su tasa de inactivación. Adicionalmente, se ha sugerido que la acción antimicrobiana de HOCl y OCl⁻ se debe a que actúan a través de la inhibición de enzimas esenciales para el crecimiento microbiano, la interrupción la síntesis de proteínas, lesiones en el DNA y en la membrana reduciendo así su capacidad de transporte.

Aplicación de agua electrolizada en frutas y vegetales

La aplicación del agua electrolizada remueve de la superficie suciedad y material no deseado como se podría lograr con el agua corriente. Sin embargo, este tipo de agua tiene la ventaja de al ser aplicada por ciertos periodos de tiempo se reduce la carga microbiana de manera considerable haciendo al alimento higiénico para su consumo. El tiempo de exposición con agua electrolizada es un factor importante para la reducción de las poblaciones bacterianas. Existen algunas investigaciones que sugieren que tiempos cortos de exposición son suficientes para lograr reducir el número de microorganismos. Existen reportes que al tratar hojas de lechuga inoculadas con *Salmonella* spp. por periodos de tiempo de 15, 30 y 45 s, se reduce significativamente las poblaciones bacterianas. Aplicar tratamientos de agua electrolizada neutra por 30 y 60 s en tomates inoculados con *E. coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis* y *Listeria monocytogenes* con eficiente. De forma general, el tratamiento por un periodo de 30 s es suficiente para desinfectar las superficies de los tomates.

Una vez identificados los tiempos de exposición la aplicación de agua electrolizada sobre productos pos-cosecha en los periodos adecuados, ha mostrado tener un buen efecto en la reducción de los microorganismos presentes en ellos. Hay reportes que el agua electrolizada ácida (pH=2.45, E_{redox}= 1130 mV, concentración de cloro libre= 16.8 mg/L), fue más eficaz que el tratamiento con ozono o NaClO en la reducción de microorganismos durante su almacenamiento. Por otra parte, el tratamiento con agua electrolizada durante 5 min en hojas de lechuga logró una reducción de 8.9 log UFC/mL, además de no afectar el color, olor y sabor. Los lavados con agua electrolizada ácida y ligeramente ácida reducen las poblaciones de *E. coli* O157:H7 en hojas de lechuga y tomates e incrementa su eficacia al aumentar el tiempo de lavado.

Al aplicar tratamientos con agua electrolizada (60 mg/L de cloro activo y 5 minutos de inmersión) en frutos de tomate pos-cosecha se logró un menor porcentaje de incidencia (30%) en frutos infectados con *Fusarium* y *Galactomyces geotrichum* en comparación con los tratados con el fungicida (50%). Por otra parte, en los frutos infectados con *Alternaria* sp., el menor porcentaje de incidencia (40%) fue en frutos tratados con agua electrolizada que los tratados con el fungicida (60%). Se reportó menor cantidad de microorganismos en los frutos tratados con agua electrolizada ácida y ligeramente ácida durante el almacenamiento a 4°C.



Adicionalmente, el agua electrolizada contribuye a la oxidación de los residuos de plaguicidas, lo que previene el riesgo en la salud humana. Se analizó la disminución de residuos de tres pesticidas; acefato, ometoato y 2,2-diclorovinil-dimetil fosfato (DDVP) en vegetales frescos al lavar espinaca, col y puerro con agua, detergente, agua electrolizada reductora y agua electrolizada oxidante. Durante la experimentación se observó una disminución en el contenido de pesticidas en los vegetales lavados con agua electrolizada reductora y oxidante. Posteriormente, se evaluó el contenido de Vitamina C en espinaca para determinar si los tratamientos con agua electrolizada afectaban la calidad nutricional de los vegetales. Sin embargo, no se observó disminución en el contenido de Vitamina C. Por lo tanto, se concluyó que el lavado de vegetales con agua electrolizada reductora y oxidante es más efectivo que el realizado con detergente y/o agua, en la disminución de los residuos de pesticidas y no afecta la calidad nutricional de los vegetales.

Aplicación de agua electrolizada en cultivos

La aplicación de agua electrolizada en los cultivos ha tomado gran interés debido a la necesidad de disminuir el uso de plaguicidas en la agricultura siendo China, Estados Unidos, Corea y Japón los países que más reportes al respecto han generado. En este sentido, estas investigaciones muestran que el uso del agua electrolizada puede ser potencial para ser utilizado en la agricultura en el control de las enfermedades causadas por microorganismos en los cultivos. Al aplicar agua electrolizada ácida para el control de mildiu en hojas de pepino hidropónico, observando una disminución de la severidad en las plantas al aplicar agua ozonada en hojas de pepino hasta la tercera aplicación. Por otra parte, al aplicar agua electrolizada ácida, la disminución de la severidad ocurrió después de la primera aplicación. El menor porcentaje de severidad fue obtenido con el tratamiento de agua electrolizada ácida. Además, se observó un ligero síntoma de fitotoxicidad en las hojas con agua electrolizada. Finalmente, los autores sugirieron que el agua ozonada es una opción viable como tratamiento preventivo y el agua electrolizada ácida como tratamiento curativo de mildiu.

En campo aplicaron agua electrolizada oxidante ($\text{pH}=2.8 - 2.9$; $E_{\text{redox}}= 1071 - 1079 \text{ mV}$; más concentración de cloro libre = 54-56 mg/L y 71 mg/L) en el follaje y flores de doce especies de plantas de ornato (las aplicaciones fueron realizadas una y tres veces por semana). Ellos reportan que, al hacer una aplicación por semana de agua electrolizada sobre el follaje, no genera ningún efecto fitotóxico en ninguna de las especies cuando las plantas en la etapa de floración. Sin embargo, al realizar tres aplicaciones por semana, observaron un ligero efecto fitotóxico; manchas cloróticas en las hojas en tres especies de plantas tratadas con agua electrolizada oxidante, concluyendo que la fitotoxicidad está asociada a las frecuentes aplicaciones.

Se aplicaron tratamientos de agua electrolizada oxidante (50, 100, 250, 350 y 500 ppm



de cloro) sola y en combinación con fungicidas para evaluar el efecto de *B. cinerea* y *M. fructicola* en plantas de fresa. Ellos reportaron 100% de inactivación de *B. cinerea* y *M. fructicola* con los tratamientos de agua electrolizada con 50 y 100 ppm de cloro y al aplicar el agua electrolizada en combinación con un fungicida (Captan 50WP, Rovral, Iprodione 4L AG y Switch 62.5 WDG). No obstante, observaron alta fitotoxicidad al aplicar agua electrolizada con concentraciones de cloro de 250, 350 y 500 ppm. Finalmente, se concluyó que el agua electrolizada oxidante con concentraciones de 50 y 100 ppm de cloro, puede ser usada como tratamiento para la reducción de *B. cinerea* y *M. fructicola* en plantas fresa, además de ser usada como un suplemento en el control de hongos en la agricultura convencional sin causar efectos fitotóxicos significantes.

Otros tratamientos de agua electrolizada neutra sola y con fungicidas para controlar la antracnosis causada por *Colletotrichum fructicola* en plantas de fresa bajo condiciones de invernadero. Durante la experimentación se observó una menor incidencia por el patógeno en las plantas tratadas con agua electrolizada (8.3%), en comparación con las plantas tratadas con agua y un fungicida (27%) y las plantas control (85%). Por otra parte, se observó que la combinación de agua electrolizada con fungicidas logra inhibir completamente la enfermedad. Con estos resultados se concluyó que el agua electrolizada neutra puede ser aplicada mediante aspersion en cultivos de fresa comercial y que puede ser aplicada diariamente en el cultivo.

Conclusiones

El agua electrolizada ha demostrado ser un candidato eficiente por su poder antimicrobiano y antibacterial al ser aplicado en diferentes superficies alimentarias como un potencial agente antimicrobiano en la industria alimentaria. Sin embargo, se debe continuar con las investigaciones para conocer las condiciones óptimas de su aplicación en diferentes patógenos que afectan a los vegetales.

Referencias

- Afari, G. K., Hung, Y., King, C. H. (2015). Efficacy of neutral pH electrolyzed water in reducing escherichia coli O157:H7 and salmonella typhimurium DT 104 on fresh produce items using an automated washer at simulated food service conditions. *Journal of Food Science*, 80(8), M1815-M1822. doi:10.1111/1750-3841.12936
- Buck, J. W., Van, L. M. W., Oetting, R. D., Hung, Y. (2003). Evaluation of acidic electrolyzed water for phytotoxic symptoms on foliage and flowers of bedding plants. *Crop Protection*, 22(1), 73-77. doi:10.1016/s0261-2194(02)00113-8
- Cap, M., Rojas, D., Fernandez, M., Fulco, M., Rodriguez, A., Soteras, T., Mozgovej, M. (2020). Effectiveness of short exposure times to electrolyzed water in reducing salmonella spp and imidacloprid in lettuce. *Food Science & Technology*, 128, 109496. doi:10.1016/j.lwt.2020.109496



- Deza, M. A., Araujo, M., Garrido, M. J. (2003). Inactivation of escherichia coli O157:H7, salmonella enteritidis and listeria monocytogenes on the surface of tomatoes by neutral electrolyzed water. *Letters in Applied Microbiology*, 37(6), 482-487. doi:10.1046/j.1472-765X.2003.01433.x
- Fujiwara, K., Fujii, T., Park, J. (2009). Comparison of foliar spray efficacy of electrolytically ozonated water and acidic electrolyzed oxidizing water for controlling powdery mildew infection on cucumber leaves. *Ozone: Science & Engineering*, 31(1), 10-14. doi:10.1080/01919510802587358
- Guentzel, J. L., Callan, M. A., Liang L. K., Emmons, S. A., Dunham, V. L. (2011). Evaluation of electrolyzed oxidizing water for phytotoxic effects and pre-harvest management of gray mold disease on strawberry plants. *Crop Protection*, 30(10), 1274-1279. doi:10.1016/j.cropro.2011.05.021
- Hao, J., Qiu, S., Li, H., Chen, T., Liu, H., Li, L. (2012). Roles of hydroxyl radicals in electrolyzed oxidizing water (EOW) for the inactivation of escherichia coli. *International Journal of Food Microbiology*, 155(3), 99-104. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.031
- Hsu, S., y Kao, H. (2004). Effects of storage conditions on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 465-471. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.02.009
- Liao, L. B., Chen, W. M., Xiao, X. M. (2007). The generation and inactivation mechanism of oxidation–reduction potential of electrolyzed oxidizing water. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1326-1332. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.01.004
- Medina-Gudiño, J., Rivera-Garcia, A., Santos-Ferro, L., Ramirez-Orejuel, J. C., Agredano-Moreno, L. T., Jimenez-Garcia, L. F., Cano-Buendia, J. A. (2020). Analysis of neutral electrolyzed water anti-bacterial activity on contaminated eggshells with salmonella enterica or escherichia coli. *International Journal of Food Microbiology*, 320, 108538-108538. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108538
- Pangloli, P., y Hung, Y. (2011). Efficacy of slightly acidic electrolyzed water in killing or Reducing Escherichia coli O157:H7 on iceberg lettuce and tomatoes under simulated food service operation conditions. *Journal of Food Science*, 76(6), M361-M366. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02219.x
- Sipahi, H., Reis, R., Dinc, O., Kavaz, T., Dimoglo, A., Aydın, A. (2019). *In vitro* biocompatibility study approaches to evaluate the safety profile of electrolyzed water for skin and eye. *Human & Experimental Toxicology*, 38(11), 1314-1326. doi:10.1177/0960327119862333
- Tabernero de Paz, M.J., Bodas, R., Bartolomé, D., Posada, R., García, J.J., Olmedo, S.



-
- (2013). Agua electrolizada como higienizante en producción animal: efectos en sanidad y productividad. *Archivos de Zootécnia*, 62 (R): 13-23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49558826002>
- Vásquez-López, A., Villarreal-Barajas, T., Rodríguez-Ortiz, G. (2016). Effectiveness of neutral electrolyzed water on incidence of fungal rot on tomato fruits (*solanum lycopersicum* L.). *Journal of Food Protection*, 79(10), 1802-1806. doi:10.4315/0362-028X.JFP-15-494
- Wang, H., Feng, H., Luo, Y. (2004). Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone. *Food Research International*, 37(10), 949-956. doi:10.1016/j.foodres.2004.06.004
- Xuan, X., Wang, M., Ahn, J., Ma, Y., Chen, S., Ye, X., Ding, T. (2016). Storage stability of slightly acidic electrolyzed water and circulating electrolyzed water and their property changes after application. *Journal of Food Science*, 81(3), E610-E617. doi:10.1111/1750-3841.13230



Elaboración de cerveza artesanal con miel de abeja

Cesar Octavio Ibarra Gudiño¹, Wilbert Alfredo Flores del Real¹, Rosa Isela Lepe Aguilar¹, Carlos Omar De la Cruz Moreno¹, Juan José Fernando Borrayo González¹

¹Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Compostela – Chapalilla km 3.5. Compostela, Nayarit. México. cesaribarra@uan.edu.mx*, wilbert.flores@uan.edu.mx, isela.aguilar@uan.edu.mx, carlosdelacruz@uan.edu.mx, fernando.borrayo@uan.edu.mx

Introducción

La cerveza no es un producto propiamente mexicano de origen, pero ha tomado una posición importante a nivel mundial, la cebada, que es de origen europeo, en México se ha logrado cultivar de manera exitosa. En la industria cervecera se usan dos tipos de cebada la mexicana y la americana que dan origen a la cerveza. Esta bebida llamada es una de las más populares y antiguas del mundo; las primeras evidencias del uso de la fermentación del trigo fueron en el antiguo Egipto, los historiadores griegos dan referencia constante de que los egipcios son los inventores de la cerveza.

La materia prima para la elaboración de la cerveza es primordialmente: trigo, agua, levadura y lúpulo. En la producción de cerveza también se puede emplear malta de cebada y como carbohidratos se empleó miel de abeja, aunque también se puede emplear: azúcar, arroz, maíz, papa, etc. La fermentación es una de las etapas más significativas en la elaboración de la cerveza, dado que, en esta fase, la conversión de azúcar en alcohol tiene lugar por acción de la levadura, junto con el desarrollo de muchos compuestos de fermentación secundarios que determinan el perfil de sabor del producto.

El término cerveza proviene de “bibere”, que quiere decir beber en latín. A pesar de que ha pasado mucho tiempo desde su nacimiento, su proceso de elaboración no ha cambiado, una característica de esta bebida es su bajo contenido alcohólico que oscila entre 4-14%, proveniente del cereal que se fermenta. Este fermento llamado mosto con la combinación de lúpulo se volvió popular en el siglo XVIII, ya que este ingrediente le daba un sabor amargo a la bebida, la cual llamaron cerveza, provocando que la bebida conocida como “ale” cayera en desuso.

El rubro de la producción de cerveza artesanal no se puede ver de forma aislada. El éxito de la cerveza artesanal depende de la interacción estratégica con el sector macro, así como de la influencia de los estilos y perfiles de sabor de la cerveza que se ofrecen a los consumidores. En los últimos años se ha observado un incremento de producción de cerveza artesanal y difusión de dicho producto.

Entre enero y agosto del 2022, México produjo 95.5 millones de hectolitros de cerveza,



cifra que muestra un incremento interanual del 5%, pero si se compara con el periodo pre-pandemia, el incremento sería del 12%. La industria cervecera en México ha funcionado de forma exitosa a nivel nacional, debido a que mantiene articulados de forma eficaz a la mayor parte de los actores que la conforman, lo que ha favorecido su competitividad en el ámbito internacional.

En la apicultura podemos encontrar una gran cantidad de productos que brindan alimento a los seres humanos, el principal es la miel y este producto ofrece características nutricionales importantes, en su composición química, encontraremos carbohidratos, proteínas, aminoácidos y vitaminas como: la riboflavina, ácido pantoténico y minerales como: calcio, hierro, magnesio y zinc; de igual manera, carbohidratos siendo estos el 80% de la miel, esto se considera una fuente muy buena de energía para los procesos de fermentación con características nutraceuticas. La finalidad de la elaboración de cerveza con miel es para satisfacer diferentes gustos y deseos de personas consumidoras de estas bebidas; y a su vez dar un valor agregado a este producto.

Proceso de elaboración

Se mezcla la malta base con las maltas especiales para que nos aporte color, sabor y aroma; estas maltas deberán ser pesadas en las cantidades adecuadas (Para esta receta se utilizó 5 kilogramos de malta para elaborar 20 litros de cerveza).

Molienda del grano

El grano se debe quebrar de modo que, al estar partido, el almidón quede disponible. Se tiene que evitar en lo posible hacerlo polvo completamente; se recomienda utilizar un molino o en su defecto un rodillo de cocina, pero nunca se debe de emplear una licuadora (Figura 1).



a



b

Figura 1. Imagen Izquierda molienda del grano, Imagen derecha el grano molido.



Maceración

En una olla de aleación acero aluminio, con una capacidad de 30 litros se calientan 25 litros de agua a una temperatura de 55°C. Se deposita el grano molido a las bolsas de maceración, procurando que sea 2.5 kg por cada cubeta (Figura 2).



Figura 2. Grano molido en bolsas de maceración.

De los 25 litros de agua caliente a 55°C se tomarán 6 litros de agua y se vaciara gradualmente (3 y 3 litros por cubeta) para hidratar el grano poco a poco. Es necesario que todo el grano quede humedecido; una vez hecho este paso se tapan las cubetas por 20 minutos (Figura 3). Posteriormente, se agregan 11 litros de agua a 55 °C (5.5 litros) a cada cubeta de maceración. Por segunda ocasión se tapaná nuevamente y se esperará 50 minutos (Figura 3). Se agregara 8 litros de agua con una temperatura de 55°C a cada cubeta de maceración. Se tapaná nuevamente y se dejará pasar 20 minutos (a todo este procedimiento se le llama maceración escalonada).



Figura 3. Humedecido del grano.



Recirculado

Una vez concluido el proceso de maceración será necesario empezar con el recirculado del mosto. Al principio el líquido obtenido se observa turbio, con partículas en suspensión y cascarilla de la malta, con la ayuda de una jarra se recircula el mosto llenando la jarra y vertiéndola de manera suave en cada cubeta; este proceso lo repetiremos por 30 veces. Con este proceso clarificará el mosto poco a poco de manera natural (Figura 4).



Figura 4. Recircular 30 veces el mosto.

Cocción e incorporación del lúpulo

Al terminar con la etapa del recirculado, es necesario vaciar todo el mosto a la olla de cocción y se pondrá a hervir durante 1 hora. Dentro de la hora de hervor añadiremos desde el primer minuto 15 gramos de lúpulo de la marca columbus (amargor), al minuto número 30 añadiremos otros 15 gramos del mismo lúpulo (sabor), y a los 45 minutos otros 15 gramos del lúpulo (aroma). La cantidad de lúpulo y tipo de lúpulo dependerá de la receta que se esté elaborando (Figura 5).

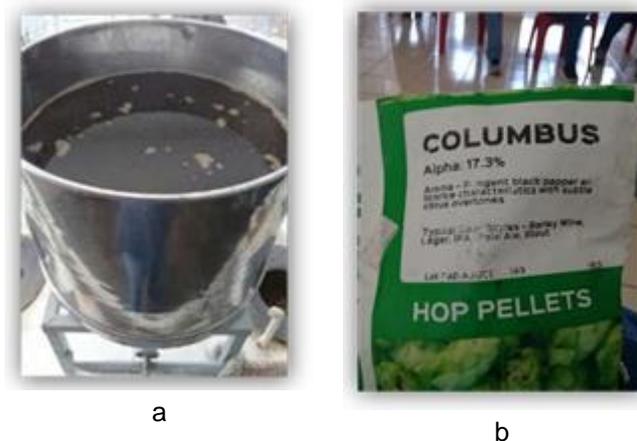


Figura 5. a. Hervor del mosto. b. Paquete de lúpulo.



Enfriamiento

Al terminar la hora de cocción y de añadir el lúpulo, será necesario bajar la temperatura del mosto; para esto se colocará la olla dentro de una tina con hielo y agua para acelerar el enfriamiento. El mosto se dejará enfriar a 45°C y se añadirá 1 litro de miel de abeja de la marca Ibarra en ese momento (Figura 6). Se seguirá bajando la temperatura hasta llegar a los 25°C. Una vez conseguida esa temperatura verteremos el mosto en las cubetas de fermentación.



Figura 6. Imagen izquierda, incorporación de miel de abeja, imagen derecha 250 ml de mosto para medición de densidad.

Fermentación

Después de vaciar el contenido a las cubetas, se procederá a añadir la levadura CBC-1 dentro de la cubeta de fermentación (Figura 7). Una vez incorporada la levadura se procederá a tapar el mosto, debe quedar hermético sin que haya entrada de aire, se coloca la tapa de la cubeta, el tapón de goma junto con la válvula de escape air lock. Ahora se dejará fermentar una semana, en un lugar oscuro y fresco a una temperatura de 25 °C.



a



b

Figura 7. a. Levadura. b. Incorporación de levadura.



Desinfección de los depósitos

En una olla de 25 litros agregamos 15 litros de agua purificada y 2 cucharadas de sanitizante de grado alimenticio, posteriormente se lava el bote de llenado, manguera, jarra, botellas y corcholatas con la misma agua (Figura 8).



a



b

a 8. a. Desinfección de botellas. b. Desinfección de corcholatas.

Transvase

Con la ayuda de una manguera de grado alimenticio se transvasará la cerveza al bote de llenado de botellas. Este paso se realiza para evitar que el mosto lleve impurezas del proceso de fermentación (Figura 9).



Figura 9. Desechos de levadura al fondo del garrafón.



Gasificación natural

Una vez teniendo todo el proceso, se procederá a pesar 4 gramos de azúcar estándar, por los litros totales de cerveza que se encuentren en la cubeta. Por ejemplo, si obtuvimos $19 \times 4 = 76$; entonces pesaremos 76 gramos de azúcar. Una vez que se tiene conocimiento de los gramos, se emulsionará el azúcar en un litro de cerveza (Figura 10). Ya que quedó disuelta el azúcar se verterá a la cerveza y se mezclará con el mosto. Posteriormente se procederá al llenado de las botellas y después cerrar cada botella con su corcholata.

Embotellado

Pasando los 7 días de fermentación se podrá ver que ya no hay actividad dentro del fermentador y la válvula air lock ya no producirá burbujas. Además, se observará una sedimentación de color blanquecino en la parte inferior del fermentador. Una vez cerradas cada botella se dejarán reposar mínimo por 15 días más, esto con el fin de que se generé una gasificación natural y sea espumosa a su destape (Figura 10).



Figura 10. a. Llenado de botellas. b. Encorcholado de las botellas.

Conclusión

Al agregar la miel de abeja en la elaboración de cerveza artesanal, le proporciona potencia alcohólica, ligereza de sabor a la cerveza y suaviza su aspereza. También suele contrarrestar lo amargo de los lúpulos consideran el sabor de una cerveza joven.

Referencias

Archundia A. B. (2014). Cerveza artesanal elaborada con miel de abeja mexicana. Tesis facultad de química. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bernáldez C. A. I. (2013). Cerveza artesanal en México. Culinaria No. 6 pp. 56 a 63.



- Campoverde, R. J. (2019). Análisis del crecimiento del mercado sustituto de cervezas artesanales. *Espiraes Revista Multidisciplinaria de investigación*, 3(26), 71–80. <https://doi.org/10.31876/re.v3i26.461>
- Castorena-García, J. H., Juárez-Pérez, V., Cano-Hernández, M., Santiago-Santiago, V., López-Mejía, O. A. (2020). Caracterización Físico-química de Cerveza Artesanal don Adjunto de Maíz Azul y Derivados de Caña de Azúcar. *Conciencia Tecnológica*, 60.
- Martínez-Gándara, A. (2008). Tequila, mezcal y cerveza: de México para el mundo. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 5(2), 143-150. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Salud-La-produccion-de-cerveza-mexicana-esta-en-niveles-record-20221105-0009.html>
- León, P. J. P. (2019). Evaluación de la concentración de lúpulo y miel de abeja en la elaboración de cerveza artesanal a base de malta de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus* Doctoral dissertation, Universidad Politécnica Estatal del Carchi).
- Luján, C. M., Vásquez, V. (2010). Automatic control with fuzzy logic of home-made beer production in maceration and cooking stages. *Scientia agropecuaria*, 125–137. doi.org/10.17268/sci.agropecu.2010.02.03
- Muñoz, S. A. S. (2022). Evaluación de la adición de centeno (*Secale cereale*) en la formulación de cerveza artesanal Belgian Pale Ale. *Enfoque UTE*, 13(3), 14–28.
- Vázquez-Alfaro, M., Aguilar-Ávila, J., Palacios-Rangel, M. I. (2021). Cadena de valor de la industria cervecera en México. *Nova Scientia*, 13(27). <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2778>



Marco conceptual de la sustentabilidad de los recursos naturales

Rubén Cornelio Montes Pérez

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil. C.P. 97315. Mérida, Yucatán, México. ruben.montes.perez.16@gmail.com, mperez@correo.uady.mx

Introducción

En este capítulo, se aborda el marco conceptual de manera sencilla, para hacerla entendible al público en general, por esta razón los términos técnicos se describen de manera simple pero comprensible. Existen fuentes bibliográficas abundantes, para que aquellos lectores que desean profundizar en los diferentes temas de este capítulo, los consulten.

El estudio de la Sustentabilidad es de naturaleza compleja, porque para abordarla se necesitan incluir tres criterios, que son: Ambiental, Económico y Social. Por esta razón la naturaleza del planteamiento y análisis de este marco conceptual es de tipo multicriterio.

Existen dos denominaciones para este concepto, que son Sostenibilidad o Sustentabilidad, lo que ha generado debate desde el punto de vista etimológico y semántico. Sin embargo, el uso de ambos términos es indiferente, en virtud de que se han usado por muchos autores como sinónimos, puesto que cumplen con los principios de congruencia, coherencia y homogeneidad.

Se efectuará el análisis detallado del contenido de este concepto desde los tres criterios básicos.

Criterio Ambiental

Desde este criterio, es prioritario cumplir con el derecho humano al ambiente sano para el desarrollo y bienestar. Las sociedades humanas para mantener su funcionalidad requieren del consumo de los recursos naturales renovables y no renovables, pero cada sociedad en cada nación responde a deseos e intereses diferentes, que conlleva a generar niveles diferentes de consumo de los recursos naturales. En este contexto existen naciones que son derrochadoras de recursos, la Figura 1 muestra el mapa mundial de países con diferentes niveles de consumo en unidades de Hectáreas (Ha/cap) de recursos naturales usadas por persona en 2023, los más destacados son: USA, Australia y otros más. La Figura 2 muestra el déficit de reserva ecológica de varios países, es decir el consumo excesivo de recursos naturales que genera su agotamiento por lo tanto produce valores negativos, y aquellos cuyos consumos son menores, con valores positivos. Un caso característico es Noruega (Huella ecológica = 6.9, Reserva ecológica = -0.8), país considerado el mayor productor y exportador de petróleo y gas de Europa,



abastece el 25% de la demanda de gas. Paradójicamente es el país que prohíbe la contratación de las instituciones que contribuyen a la destrucción de bosques. Además, es uno de los patrocinadores de proyectos "verdes" en el extranjero, por ejemplo el financiamiento por US\$1.000 millones otorgados a Brasil para detener la deforestación. Es posible deducir que este país como otros intenta compensar a la contaminación global mediante el apoyo a países que tienen recursos florísticos para efectuar la captura de carbono, pero sin perder la fuente de riqueza económica que es la exportación de hidrocarburos. La pregunta sería ¿qué tan eficiente y viable es fomentar su apoyo a los bonos de captura de carbono para mejorar la calidad de la atmósfera?

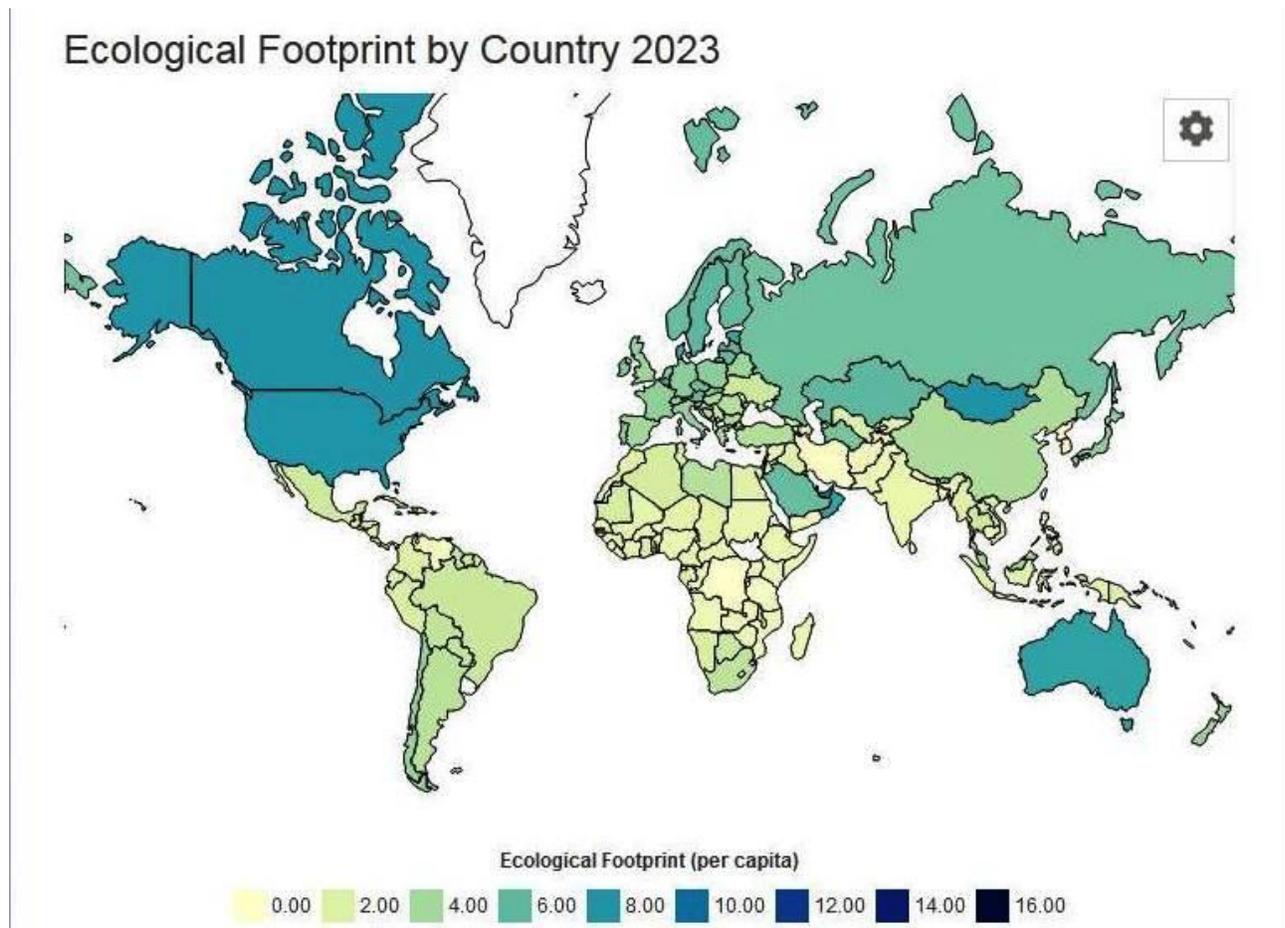


Figura 1. Mapa mundial del consumo de recursos naturales en el mundo, representado como huella ecológica, que muestran los países con altos y bajos valores en cantidad de Ha/persona al año 2023. Fuente: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/ecological-footprint-by-country>.



Si bien es cierto que los consumos de estos recursos deben regirse bajo el principio del aprovechamiento sustentable, es decir debe procurar la reducción del impacto perjudicial sobre el ambiente, generación de empleo, incremento de la competitividad y bienestar social. Por lo tanto, es prioritario fomentar el establecimiento en las naciones la aplicación de tecnologías de bajo impacto sobre el ambiente, varias de ellas han probado que son eficientes en este sentido, por ejemplo, la aplicación de ecotecnia en la producción agropecuaria como el silvopastoril, la transición hacia sistemas agroecológicos, entre estos, los agroforestales; producir biogás para el reciclaje adecuado de residuos y también para generar energía útil de trabajo y fertilizante. Asimismo, aumentar las áreas naturales protegidas terrestres y marinas, para conservar el patrimonio biológico y servicios ecosistémicos, como la polinización, captura de carbono, regulación de la temperatura global entre muchos más. Además, reducir la producción de basura a través de la conducta de reciclaje y reutilización de material plástico, papel, o disminuir el desperdicio de alimento a nivel de familia o empresas; sin embargo, existen sociedades que no aplican de manera eficiente muchas de estas acciones.

Han sido varias las estrategias a nivel nacional e internacional para fortalecer la cultura para la protección de los recursos naturales, una de éstas es la incorporación de la Educación Ambiental a nivel escolarizado y no escolarizado, que ha sido instituido como política pública en varios países, pero es insuficiente, porque son múltiples las causas que conducen a comportamientos que perjudican al ambiente, y que corresponden de manera general a criterios de tipo económico y social.

Criterio económico.

En las ciencias económicas se han generado varios métodos para la valoración de la naturaleza. Al respecto, existen dos: la Economía de los Recursos Naturales que está relacionada con la Economía Ambiental, y la Economía Ecológica. La primera valora el capital natural y los servicios ecosistémicos en unidades monetarias también llamado crematístico, para incorporarse en el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económico para la planificación de los ingresos a nivel país, estado o municipio, a partir de los recursos naturales que constituyen los factores de la producción como la Tierra, Mano de Obra, Capital, Tecnología, pero que deben conservarse. En el otro sentido, se basa en la valoración del capital natural en términos crematísticos, mediante metodologías econométricas, así es posible valorar en dólares, euros o pesos una laguna, manglar, bosque, esta concepción muestra que es posible efectuar la sustituibilidad entre capital natural y capital manufacturado por el humano, concepto llamado Sustentabilidad Débil. La Economía Ambiental analiza y valora también en términos crematísticos los efectos ambientales perjudiciales sobre el capital natural y las funciones ecosistémicas, estos efectos también se les denomina Externalidades negativas, porque son causadas por entidades particulares o de gobierno durante sus actividades productivas, que afectan



perjudicialmente a otros sectores sociales sobre los cuales inciden, por ejemplo una explotación minera al descargar sus residuos a ríos genera agua contaminada, que es tóxica para la salud de los habitantes en las partes bajas de la corriente de ríos, también perjudica a cultivos o ganado que consumen estas aguas. Es por tanto necesario medir el daño en unidades monetarias, de esta manera se genera el costo por contaminación, que debe usarse para mitigar o eliminar los efectos nocivos, una vez valorados, es posible introducirlos a la contabilidad de costos de la entidad causante, proceso que se denomina internalizar las externalidades negativas.

El capital natural corresponde a los llamados activos de la naturaleza es decir los recursos minerales y energéticos, tierra, recursos del suelo, recursos madereros, acuáticos, agua, flora, fauna, otros complementarios, y las funciones ecosistémicas que brinda la naturaleza, en general son: servicios de provisión, de regulación y culturales. Los de provisión se pueden mencionar: producción de alimentos como peces, frutos, forraje. Los de regulación, algunos son: conservación de la calidad del aire, captación de carbono, protección y mitigación contra inundaciones y sequías, polinización. Los culturales, algunos son: recreación, calidad escénica, para actividades científicas y educativas.

Un aspecto importante es describir la importancia que tiene la Economía Ambiental y de los Recursos Naturales, mediante la valoración económica de la naturaleza. Los economistas ambientales señalan la importancia de evitar el efecto de la “Tragedia de los recursos comunes”, principio que expresa el uso y abuso del capital natural por la sociedad en su conjunto, puesto que el libre acceso a éstos genera el agotamiento o contaminación del mismo, y por lo tanto conduce a la pérdida de los beneficios que brinda a toda la sociedad. Para evitar este fenómeno es necesario atribuir derechos y obligaciones a los usuarios del capital natural para el acceso a estos recursos, el Estado se encarga de la adjudicación de tales derechos y obligaciones, que estarán delegados a entidades particulares o gubernamentales. Las entidades que adquieren los derechos de apropiación para el uso y regulación del o los recursos, deberán estar regidos por un marco legal. Desde el momento que se adquieren los derechos de apropiación surge la necesidad de valorar el acceso al recurso, valoración que se mide en unidades monetarias, para esto es necesario aplicar metodología econométrica, que genera las condiciones crematísticas con la que se puede efectuar transacciones con cualquier entidad de la sociedad, de esta manera es posible regular el uso del capital natural.

En el contexto de la Economía de los Recursos Naturales y Ambiental, es necesario la medición del valor de la naturaleza, por esta razón existen indicadores para ello, algunos son: Producto Interno Bruto Verde o PIB verde, Producto Forestal Neto, Valor Actual Neto.



Bajo este paradigma económico las transacciones se efectúan con base en el contexto de mercado, donde unos compran y otros venden el acceso al recurso, de esta manera se regulan estas operaciones, por consecuencia se conservan las funciones ecosistémicas que ese capital genera. Sin embargo, cuando surgen problemas en la ejecución de estas transacciones, se identifican dos tipos en lo general: Fallas de mercado o Fallas de gobierno, que empeoran sus efectos ante la pobreza.

Las Fallas de mercado suceden cuando no se asignan adecuadamente los precios del capital natural, y Fallas de gobierno cuando el Estado no consigna adecuadamente la normatividad o no existe la correspondiente para ser aplicada a los permisionarios del capital natural, o genera políticas que disminuye el valor del capital natural, por ejemplo fomentar actividades mineras que transforman la calidad del suelo, agua y aire, a expensas de actividades para conservación y aprovechamiento sustentable de la naturaleza, como la combinación de apicultura con silvicultura y agroforestería.

Existe debate en los enfoques económicos del mercado. La teoría del mercado eficiente y teoría del mercado ineficiente. En el mercado eficiente se asume que existen los inversionistas inteligentes y bien informados, y los títulos de inversión son valorados adecuadamente y expresan toda la información disponible. Sin embargo, en la realidad son pocos los momentos en los mercados que sincrónicamente presentan estas condiciones, por consecuencia en escenarios reales los mercados presentan desviaciones, algunas de éstas son: inexistencia de competencia perfecta de mercado, por lo contrario, es de competencia imperfecta, porque existen las siguientes condiciones, según la situación: presencia de monopolio, oligopolio, monopsonio, oligopsonio, mercado ilegal, especulación financiera. Además, suceden eventos desfavorables que a veces son drásticos, ocasionados por factores externos al mercado local como: fluctuaciones bruscas de la proporción de importaciones/exportaciones de bienes y servicios, fluctuación abrupta del cambio de moneda. Inflación galopante e hiperinflación. Aumento del crimen: robos, asaltos, homicidios. Incidencia de Siniestros: incendios, plagas o enfermedades, inundaciones, sequía.

Los procesos biológicos y ecológicos son permanentes y cíclicos de acuerdo a la naturaleza del proceso mismo, por ejemplo, los ciclos biogeoquímicos (ciclo del agua, ciclo del carbono, etc.), éstos no se adaptan a preferencias individuales o al mercado y por lo tanto no fluctúan sincrónicamente con éstos, sin embargo, el mercado cambia continuamente a lo largo del tiempo.

El economista Robert Shiller, analizó por medio de estadística el comportamiento de los mercados a nivel mundial y descubrió que la volatilidad del mercado es demasiado elevada, este mismo autor menciona que los cambios abruptos en el mercado son



consecuencia de que los inversores reaccionan de manera exagerada ante las noticias o a percepciones de los acontecimientos, llegó a la conclusión que es de sentido común y obvio que los mercados son ineficientes. Por ejemplo, en México entre los años 1990 a 1995 se generó la fuga de capitales, que inició desde 1991 por modificación del tipo de cambio dólar estadounidense/peso mexicano y la especulación cambiaria, pero el asesinato del candidato a la presidencia Luis Donald Colosio Murrieta en marzo de 1994 generó la fuga incontrolable de capitales de México al extranjero, los analistas consideran que en ese momento México experimentó una de las más importantes debacles financieras del siglo XX. Este ejemplo es claro para mostrar que las consecuencias económicas en la sociedad están ligadas a procesos sociales, especialmente los políticos.

El paradigma de la Economía Ecológica, cambia la dirección y significado de los procesos económicos en la sociedad, niega la perfecta sustituibilidad del capital natural por capital manufacturado, concepto llamado sustentabilidad fuerte. Se fundamenta en varios principios que son: Los procesos económicos como el mercado local, nacional y mundial son subsistemas dentro del componente social. La sociedad transforma el capital natural para mantener su dinámica y por lo tanto genera bienes transformados y servicios, incluso desechos y contaminación, proceso que se llama metabolismo socio-ambiental, a partir de materiales con alto valor energético útil para trabajo (hidrocarburos) produce materiales con bajo contenido de energía útil de trabajo, por ejemplo, residuos sólidos urbanos con alto contenido de humedad, residuos de construcción y demolición, etc. El sistema que integra los subsistemas económico y social es la Biósfera que contiene todos los recursos naturales, cuya fuente primaria de energía es solar, que se transforma en biomasa útil para la sociedad como vegetación y cultivos a través de la fotosíntesis, agua y nutrientes del suelo, animales herbívoros que consumen vegetales y éstos sirven de alimento a la sociedad humana en general. Desde este contexto la valoración del capital natural se mide a través de indicadores biofísicos, algunos son: Huella ecológica, Biocapacidad, Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta (HANNP). Con base en estos indicadores se han generado debates sobre el papel e impacto en la Biosfera que tienen las sociedades altamente consumidoras de energía y biomasa, que paradójicamente son las que poseen mayor capital económico en el mundo. La Figura 2 muestra datos sobre valores de Huella Ecológica y Reserva ecológica mundial que es la diferencia positiva o negativa que significa el superávit o déficit respectivamente, con base en la capacidad biológica o biocapacidad de cada nación, ambos en Hectáreas *per cápita*. Se observa que algunos países con fuerte capital económico generan déficit de la reserva ecológica, por tanto tienen elevado impacto negativo en el mundo, porque consumen más cantidad de materia y energía de la necesaria para mantener sus niveles de consumo, obtienen estos recursos de países con bajos niveles de capital económico y mayores niveles de reserva ecológica, pero estos últimos países no reciben



equitativamente el mismo beneficio económico ni de reposición de su capital natural, por tanto se genera deuda ecológica de los países altamente consumidores hacia los menos consumidores. Además, existen otros factores que contribuyen a la deuda ecológica de los países con alto poder económico y financiero sobre los subdesarrollados, través de la deuda de carbono, la biopiratería, agua virtual que no se restituye en transacciones de alimentos y la exportación de residuos tóxicos a esos países. Estos son temas centrales en el debate que genera otro paradigma científico llamado Ecología Política.

	Huellas ecológica	reserva ecológica
 Siria	2,1	-1,2
 Tayikistán	0,7	-0,1
 Tanzania	1,1	0,1
 Tailandia	2,1	-1,2
 Togo	0,8	0,3
 Trinidad y Tobago	2,1	-0,1
 Túnez	1,8	-0,6
 Turquía	2,7	-1,1
 Turkmenistán	3,9	-0,2
 Uganda	1,4	-0,4
 Ucrania	2,7	-0,3
 Emiratos Árabes Unidos	9,5	-8,4
 Reino Unido	5,3	-3,7
 Estados Unidos	9,4	-4,4
 Uruguay	5,5	5
 Uzbekistán	1,8	-0,8
 Venezuela	2,8	0,3
 Vietnam	2,1	-1,1
Mundo	2,7	-0,6

Figura 2. La huella ecológica y la reserva ecológica mundial, ambos en Ha per cápita. Fuente: Global Footprint Network. 2021.

https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses_seg%C3%BA_n_su_huella_ecol%C3%B3gica



Las Figuras 3 y 4 muestran gráficamente las concepciones integrales de ambos paradigmas económicos. En esencia la Economía de los Recursos Naturales y Economía Ambiental obedecen a la doctrina de la Economía Neoclásica, que intenta conciliar los óptimos económicos y creación de mercados para bienes y servicios ambientales, con el fin de promover la conservación de los recursos naturales. La Economía Ecológica se fundamenta de otras ciencias como la Biofísica, Ecología, Teoría de Sistemas, Sociología y otras más, para buscar soluciones holísticas a los problemas ambientales e influir en la política pública de las naciones, con el objetivo de alcanzar el Desarrollo Sustentable, por estos argumentos algunos científicos de esta disciplina mencionan que la Economía Ecológica es la ciencia de la gestión de la Sustentabilidad.

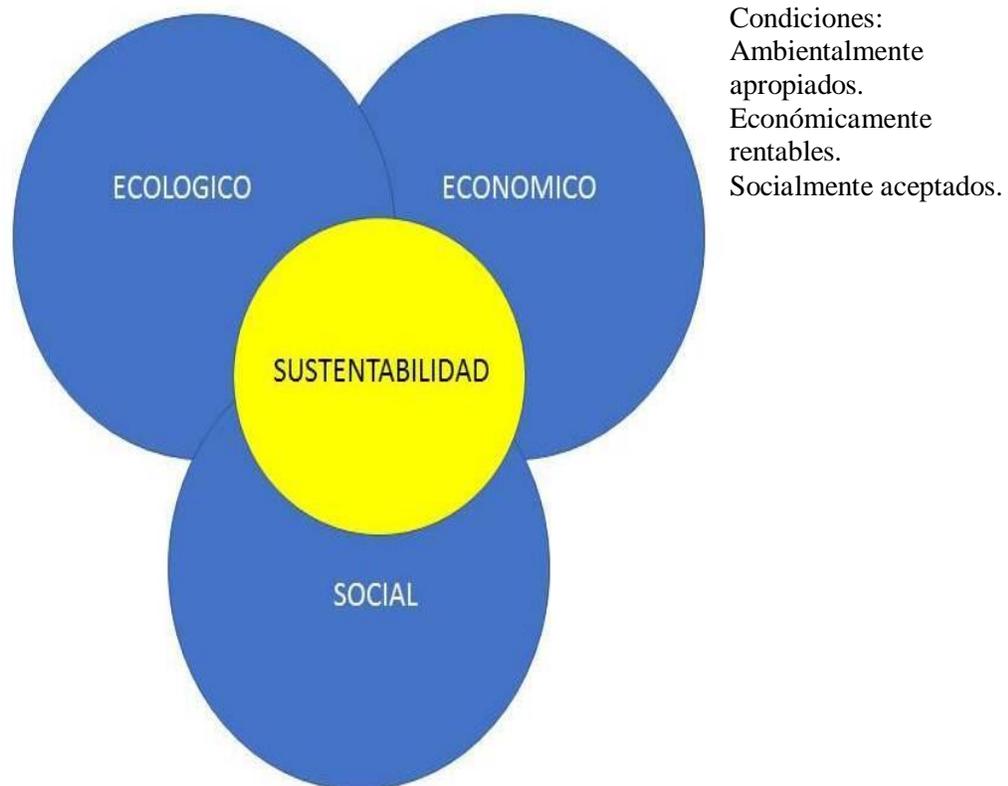


Figura 3. Sustentabilidad desde el contexto de la Economía Ambiental y de los Recursos Naturales. Fuente: elaborada por el autor.

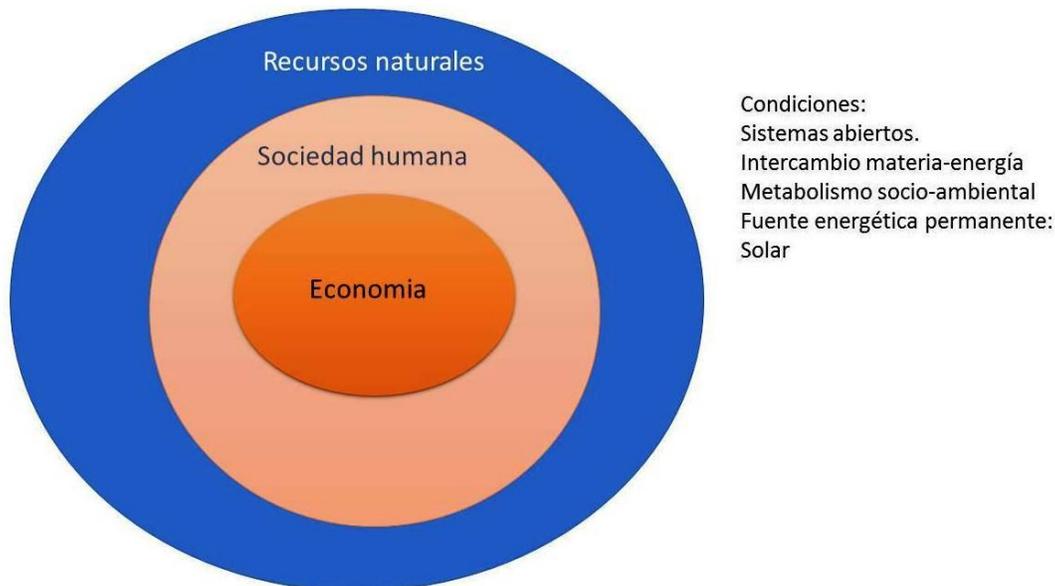


Figura 4. Sustentabilidad desde el contexto de la Economía Ecológica.

Fuente: elaborada por el autor

Criterio Social

El análisis también es complejo, porque se combina con el componente político debido a necesidades de diferentes estratos sociales, las escalas de valores se determinan de acuerdo a visiones, necesidades y aspiraciones dentro de diferentes contextos socioeconómico y ético. Estudiosos de la sustentabilidad social han expresado varios factores claves para abordar este criterio:

1. Los bajos ingresos no siempre conducen a la degradación ambiental; tampoco los altos ingresos garantizan un equilibrio ambiental, porque numerosos miembros de este último sector social generan excesivo consumo y desperdicio de recursos naturales (Figuras 1 y 2).
2. La pobreza no debe ser considerada la causa principal de la degradación; se deben considerar las políticas gubernamentales, así como los grupos de poder y los sectores ricos; en este sentido es pertinente mencionar lo escrito por Lorenzo Meyer, que argumenta lo siguiente : *“La pobreza está ligada a la desigualdad, y la desigualdad está ligada al poder político, a su naturaleza y a su distribución.....la pobreza es resultado directo o indirecto de decisiones políticas... tomemos la definición de política por David Easton: la asignación de valores en una sociedad por la vía de la autoridad, esa autoridad y su naturaleza es resultado del juego de poder específico de cada sociedad”*.
3. Tanto la pobreza como la degradación ambiental pueden tener la misma causa: falta de acceso a recursos o derechos de propiedad sobre esos recursos. A partir de este



argumento se pueden plantear dos estrategias para afrontarlo: Empoderamiento de los sectores sociales marginados y gobernanza de los bienes públicos y comunes, mediante los diferentes tipos de participación social, dentro de un escenario de régimen democrático.

4. Ejemplos de algunas sociedades agrícolas menos integradas al mercado global, muestran un mayor equilibrio ambiental, entonces la degradación podría ser resultado de la integración mercantil de la producción de estas sociedades agrícolas dentro de un contexto de mercado real global que es imperfecto, pero si no reciben apoyo eficiente de políticas públicas que los respalde, entonces sufren por comercio injusto y los subsecuentes resultados. En este contexto es necesario mencionar un componente importante, que fortalece a este tipo de sociedades agrícolas, es el Capital Social, expresado como la economía solidaria y las Redes de cooperación en el ámbito local. En varias comunidades rurales las redes de cooperación, además de generar apoyos técnicos, productivos incluso financieros, incluyen apoyos solidarios a la educación y beneficio a la calidad de vida de las personas. Estas redes generalmente se forman en torno a proyectos específicos, como nuevas formas de hacer cultivos o agregar valor a sus productos para llevarlos principalmente al mercado local o circundante.

Se ha generado debate intenso dentro de este contexto, que relaciona de manera directa la naturaleza del sistema capitalista con el desarrollo social, porque en gran medida la posesión de los medios de producción, apropiación y acumulación del capital, propicia asimetría cada vez mayor en la distribución de la riqueza económica generada en los diferentes estratos sociales, no solamente a nivel país, sino entre países, por lo que el régimen político prevaleciente de cada nación y también mundial, lo mantiene, por vía del poder económico, político y de la fuerza pública dentro de cada nación o por los ejércitos a nivel mundial. En este aspecto hay muchos pendientes que deben resolver las organizaciones de ámbito mundial como la ONU, FMI, etc.

Para evaluar la sustentabilidad social, se han generado indicadores en México, que están definidos en la Política Pública del Bienestar y Desarrollo Social, algunos de éstos son: Índice de Desarrollo Humano que integra los indicadores: Esperanza de vida al nacer, Años esperados de escolaridad, Año promedio de escolaridad, Índice de Pobreza Multidimensional (IPM), que incluye los indicadores: nivel de nutrición, mortalidad infantil, años de escolaridad, asistencia a la escuela, combustible para cocinar, saneamiento, agua potable, electricidad, vivienda, activos. La Figura 5 muestra la evolución de la pobreza en varios estados de la República Mexicana en 2016, 2018 y 2020, definido como Porcentaje de población cuyo ingreso es inferior al valor de la línea de bienestar y que padece al menos una carencia social.

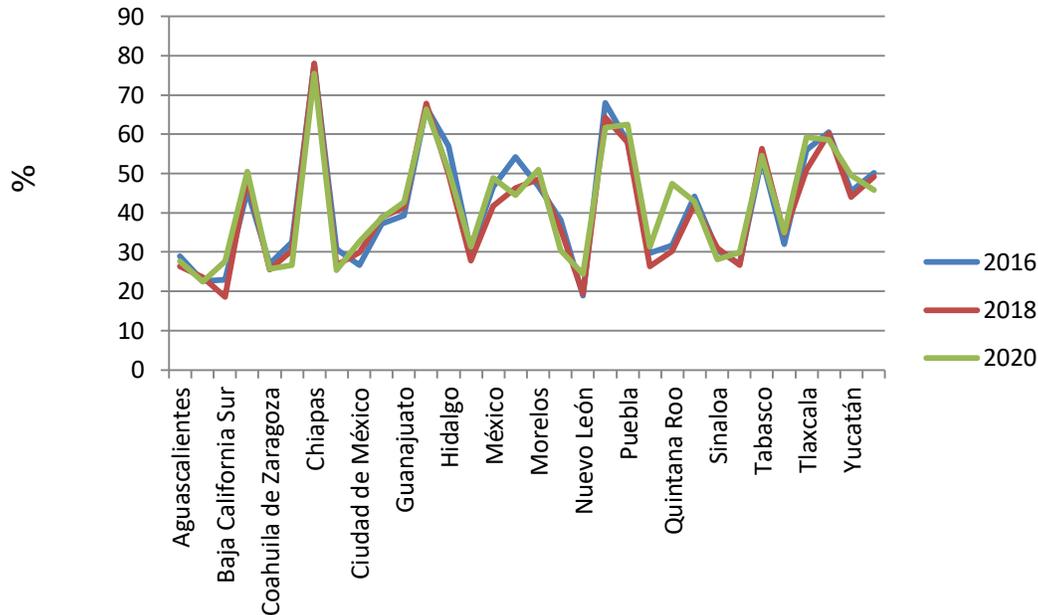


Figura 5. Porcentaje de la población en situación de pobreza en varios estados de la República Mexicana en tres periodos anuales. Fuente: Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. 2023. <https://www.snieg.mx/cni/escenario.aspx?idOrden=1.1&ind=6300000106&gen=216&d=>

A partir de 2015, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) convocó a los países integrantes de la ONU para que se adhieran al Proyecto de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible, llamado 17ODS, que operaría de 2015 a 2030, se muestran en la figura 6. El gobierno mexicano se incorporó a este proyecto, se comprometió hacer cumplir estos objetivos, el resultado de esta decisión fue la publicación digital del documento titulado México Agenda 2030. Estrategia Nacional para la Puesta en Marcha de la Agenda 2030.

La UNESCO en 2017, publicó el documento titulado Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje. Contiene para cada Objetivo la vinculación con los demás, de manera que se debe entender que la solución de los 17 ODS debe ser integral y no por separado, porque la falta de solución a uno de ellos no haría posible resolver los problemas para alcanzar la sostenibilidad.



Figura 6. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (17ODS) planteados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo de 2015 a 2030. Fuente:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

El ODS 4, contiene siete metas, el número 4.7 corresponde a Educación para el Desarrollo Sostenible. En la tabla 1.1 expresa ocho competencias clave que se deben desarrollar en los estudiantes, las cuales son: Competencia de pensamiento sistémico, Competencia de anticipación, Competencia normativa, Competencia estratégica, Competencia de colaboración, Competencia de pensamiento crítico, Competencia de autoconciencia, Competencia integrada de resolución de problemas. En la tabla 1.2.1 de la guía de la meta 4.7, describe Objetivos específicos que deben abordarse para el ODS1, se muestran en la figura 7; se describen en la tabla 1.2.1 los temas sugeridos para vincular con la ODS1. En la tabla 1.2.1 los ejemplos de enfoques y métodos de aprendizaje para abordar el ODS1, las aplicaciones de estos planteamientos permitirían alcanzar el aprendizaje significativo en los estudiantes.

De la misma forma en el resto del documento se describen las vinculaciones de la meta 4.7 con cada uno de los ODS restantes. La Figura 7 muestra el rendimiento general de los 17 ODS alcanzado por México al año 2019, según información de github.com se observa que los valores más altos están en los ODS 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 17 que alcanzan puntuaciones mayores de 60%, siendo el rendimiento general de 65.55%.

**Tabla 1.2.1 Objetivos de aprendizaje para el ODS 1 “Poner fin a la pobreza”**

Objetivos de aprendizaje cognitivos	1. El/la alumno/a comprende los conceptos de pobreza extrema y relativa, y es capaz de reflexionar críticamente sobre sus supuestos y prácticas culturales y normativas subyacentes.
	2. El/la alumno/a sabe acerca de la distribución local, nacional y mundial de la pobreza y la riqueza extremas.
	3. El/la alumno/a sabe sobre las causas y efectos de la pobreza, tales como la distribución desigual de recursos y energía, la colonización, los conflictos, los desastres causados por fenómenos naturales y otros efectos causados por el cambio climático, la degradación ambiental y los desastres tecnológicos, y la falta de sistemas y medidas de protección social.
	4. El/la alumno/a comprende cómo los extremos de pobreza y riqueza afectan las necesidades y derechos humanos básicos.
	5. El/la alumno/a sabe acerca de las estrategias y medidas de reducción de la pobreza, y es capaz de distinguir entre enfoques basados en déficits y enfoques basados en fortalezas al momento de abordar la pobreza.
Objetivos de aprendizaje socio emocionales	1. El/la alumno/a es capaz de colaborar con otros con el fin de empoderar a individuos y comunidades para que logren un cambio en la distribución de energía y recursos en sus comunidades y más allá.
	2. El/la alumno/a es capaz de crear conciencia sobre los extremos de pobreza y riqueza, y de promover el diálogo acerca de las soluciones.
	3. El/la alumno/a es capaz de mostrar conciencia sobre temas de pobreza, así como empatía y solidaridad con la gente pobre y aquellos en situación de vulnerabilidad.
	4. El/la alumno/a es capaz de reconocer sus experiencias y prejuicios personales en relación a la pobreza.
	5. El/la alumno/a es capaz de reflexionar críticamente sobre su propio rol en el mantenimiento de las estructuras mundiales de desigualdad.
Objetivos de aprendizaje conductuales	1. El/la alumno/a es capaz de planificar, implementar, evaluar y replicar las actividades que contribuyen a la reducción de la pobreza.
	2. El/la alumno/a es capaz de exigir y apoyar públicamente la formulación e integración de políticas que promuevan la justicia social y económica, las estrategias de reducción de riesgos y las medidas para erradicar la pobreza.
	3. El/la alumno/a es capaz de evaluar, participar e influenciar la toma de decisiones relacionada con las estrategias de gestión de iniciativas locales, nacionales e internacionales en relación a la generación y erradicación de la pobreza.
	4. El/la alumno/a es capaz de incluir consideraciones sobre la reducción de la pobreza, la justicia social y la corrupción en sus actividades de consumo.
	5. El/la alumno/a es capaz de proponer soluciones para abordar los problemas sistémicos asociados a la pobreza.



MÉXICO

América Latina y el Caribe



Figura 7. Valores de rendimiento general de los 17 ODS alcanzado por México al año 2019.

Fuente: [IndiceODS2019/México.pdf at master · CODS-LAC/IndiceODS2019 · GitHub](#)

Definiciones de Desarrollo Sustentable

En esta sección final, se muestran las diferentes definiciones de Sustentabilidad o Desarrollo Sustentable. La definición original generada por el grupo de Gro Brundtland en el Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, declara lo siguiente: *“hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, o sea, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”*. Esta definición es concreta en términos del contenido fundamental del concepto, pero no es operacional, significa que no describe los instrumentos, estrategias o métodos precisos para medirla y evaluarla.

La FAO en 1992, declara lo siguiente: *“Desarrollo agropecuario y rural sustentable es la administración y conservación de la base de recursos naturales y la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales de tal forma que aseguren el logro y la satisfacción permanente de las necesidades humanas para el presente y las futuras generaciones. Dicho desarrollo sustentable (en los sectores agropecuario, forestal y pesquero) conserva la tierra, el agua, los recursos genéticos de los reinos animal y vegetal, no degrada el medio ambiente, es tecnológicamente apropiado, económicamente viable y socialmente*



aceptado". El contenido de esta definición es más preciso y contiene el mensaje original de Brundtland; sin embargo, aún no define operativamente al Desarrollo Sustentable.

Existen muchas más definiciones de este concepto, lo que significa que puede ser comprendido desde varios puntos de vista: el económico, ecológico, energético, social, cultural, institucional, empresarial, científico; entonces tiene varias interpretaciones, pero ¿existe alguna que sea formal y generado por alguna política pública federal en nuestro país?, porque de ser así, entonces es posible tomarla como fundamento, por lo tanto tiene los siguientes atributos: Generalidad, Permanencia, Abstracta, Impersonal y Obligatoria, por tanto se asume que es conocida, es decir nadie puede invocar su desconocimiento e ignorancia para incumplirla, tal como sucede con La Ley de Tránsito o el Código Civil.

En México existen dos definiciones sobre el tema de Sustentabilidad, en la Ley General de Desarrollo Social (Cámara de diputados, 2004) en el artículo 3 ordinal VI, se define Sustentabilidad así: *"Preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, para mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras"*.

El Desarrollo Sustentable está definido en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Cámara de diputados, 1998) en el artículo 3 ordinal XI, de la siguiente manera: *"El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras"*. Por consecuencia, la sustentabilidad requiere ser evaluada en cualquier sistema de manejo de recursos naturales y producción de bienes y servicios, para ello es necesario que los profesionales del manejo de recursos naturales del sector primario, secundario y terciario de la sociedad, al menos conozcan los fundamentos teóricos y los métodos generales para medir o evaluar el desarrollo sustentable.

Conclusión

El marco conceptual de la Sustentabilidad y Desarrollo Sustentable, se aborda desde diferentes enfoques, al menos con tres criterios: Ambiental, Económico y Social. El análisis de estos temas a partir de cualquier criterio mencionado, genera múltiples interpretaciones y estrategias para abordar los dos conceptos. En México se generaron las políticas públicas federales para hacer formal estos conceptos, las que están declaradas en dos Leyes Generales, ambas definiciones son complementarias. El rasgo



característico de la definición mexicana del Desarrollo Sustentable tiene la cualidad de que es operativa y conduce a plantear el uso de métodos multicriterio para medir y evaluar el avance hacia el Desarrollo Sustentable de la sociedad.

Referencias

- Acuña-Tobasura, I. (2008). Huella ecológica y Biocapacidad: Indicadores biofísicos para la gestión ambiental. El caso de Manizales, Colombia. *Revista Luna Azul*, 26, 119-136. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n26/n26a07.pdf>
- Anónimo. (25 de octubre de 2018). La "hipocresía" de la modélica Noruega, uno de los principales exportadores de petróleo y gas del mundo. *BBC New Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-45808881>
- Anónimo. (2018). El mapa que muestra los países de América Latina y el mundo que consumen más recursos naturales (y el impacto que tiene sobre el planeta). *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46039895>
- Anónimo. (2023). Comercio Injusto. La historia de la crisis agrícola de México no se cuenta fácilmente. <https://www.citizen.org/wp-content/uploads/unfairtradeespsum.pdf>
- Bermudez, L. J. C., Prada, F. J. D. (2021). *Valoración económica ambiental de la Laguna de Tota un componente para la conservación de la cuenta hídrica y evaluar la importancia del bien ambiental en caso de una amenaza de deterioro*. [Tesis de Pregrado, Universidad De LaSalle] <https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/1670>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. (2004). Ley General de Desarrollo Social. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDS.pdf>
- Carrillo, G., Ramírez, A. H.T., Pomar, F. S. (2019). Sustentabilidad y desarrollo local en una comunidad rural en México. *Administración y Organizaciones*. 22 (43), 9-27. file:///C:/Users/HP32/Downloads/Sustentabilidad+y+desarrollo+local_RAYO43_



- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, CDI. (2016). Eco/tecnicas Guía práctica para las comunidades indígenas. <https://agua.org.mx/biblioteca/ecotecnicas-guia-practica-comunidades-indigenas/>
- CODS-LAC. Índice ODS2019. (2023). México América Latina y el Caribe. Rendimiento General. https://github.com/CODS-LAC/IndiceODS2019/blob/master/Perfiles_pais/M%C3%A9xico.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica. Asunción, Paraguay. https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/modulo1_introduccion-scae-mc-scae-energia.pdf
- Farías-Hernández, J. A. (1997). *La fuga de capitales en México de 1989 a 1995*. Este País 79. https://archivo.estepais.com/inicio/historicos/79/1_propuesta_la%20fuga%20de%20capitales%20en%20mex.pdf
- Foladori, G. (2002). *Avances y límites de la sustentabilidad social*. Economía, Sociedad y Territorio, III(12), 621-637. <https://www.redalyc.org/pdf/1111/111112307.pdf>
- Guevara-Sanginés, A.E. (2003). *Pobreza y medio ambiente: teoría y evaluación de una política pública*. Instituto Nacional de Ecología, Instituto Nacional de Administración Pública, Universidad Iberoamericana. México D.F.
- Hardin, G. (2005). La tragedia de los comunes. Polis. *Revista de la Universidad Bolivariana*, 4(10), 3-11. <https://www.redalyc.org/pdf/305/30541023.pdf>
- Harford, T. y Alexander, R. (2013). ¿Al fin qué? ¿Son racionales los mercados o no?. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131021_mercados_eficientes_irracionales_finde
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2017). *Economía de los recursos naturales*. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/economia-de-los-recursos-naturales>.



- Matesanz, V. Editado por Antonio Villanueva. (2023). ¿Qué es la inflación y cómo afecta a tu dinero? Causas y tipos. <https://www.finect.com/usuario/vanesamatesanz/articulos/que-inflacion-causas-tipos-como-afecta>.
- México Agenda 2030. Estrategia Nacional para la puesta en marcha de la Agenda 2030. (2023). https://micrositios.inai.org.mx/gobiernoabierto/en/wp-content/uploads/2019/10/Estrategia_Nacional_Implementacion_Agenda_2030.pdf
- Meyer, L. (2005). La pobreza en México. Aproximación al gran problema histórico. *Comercio Exterior*. 55(8), 684-691. http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/81/6/Meyer_.pdf
- Mutz, D., Hengevoss, D., Hugi, C., Gross, T. (2017). *Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos. Guía para los Responsables de la Toma de Decisiones en Países en vías de Desarrollo y Emergentes*. Bonn, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) <https://www.giz.de/en/downloads/Guia%20GIZ%202017%20WasteToEnergy%20-%20SP.pdf>
- Naciones Unidas, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- Pedagogía y comunicación. (2023). Algunas aproximaciones a la Definición de Desarrollo Sustentable. <http://www.pedagogiaycomunicacion.org/inicio/documentos/desarrollo-sustentable/>
- Peña-Martínez, J. (2019). *Valoración económica del manglar de la Laguna de Cuyutlán con fines de conservación y reforestación*. [Tesis de Maestría. Centro Universitario de la Costa Sur. Autlán de Navarro, Jalisco]. <https://guadalajara.academia.edu/JuanSab%C3%ADn>
- Pierri, N. (2005). Historia del concepto de desarrollo sustentable. En G. Foladori y N. Pierri (Ed.), *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. (Primera edición, pp. 27-82). Miguel Angel Porrúa y LIX Legislatura Cámara de Diputados
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). *Deuda soberana e inversión en naturaleza y acción climática. Oportunidades para la República Argentina*. PNUD Argentina. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-07/undp-arg-resumen-deuda-soberana-inversion-naturaleza-2022.pdf>



- Quintero-Pérez, L. F. (2015). *El Programa Pueblos Mágicos como herramienta de desarrollo social desde la perspectiva del desarrollo sustentable; caso Tepoztlán, Morelos* [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/29919/Tesis_B120176_Quintero%20P%c3%a9rez%20Luis%20Flavio_MAIT_EST_IPN.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Sanhueza, N. (2011). *Economía Neoclásica y Economía Ecológica. Dos visiones contrapuestas*. Instituto de Filosofía y Ciencias de la Complejidad. Coloquio N: Décimo noveno paseo por la complejidad. <http://ificc.net/content/d%C3%A9cimo-noveno-paseo-econom%C3%AD-neocl%C3%A1sica-y-econom%C3%AD-ecol%C3%B3gica-dos-visiones-contrapuestas-exposi>
- Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. (2023). *Catálogo Nacional de Indicadores. Indicador clave: Porcentaje de población en situación de pobreza*. <https://www.snieg.mx/cni/escenario.aspx?idOrden=1.1&ind=6300000106&gen=216&d=n>
- UNESCO. Assistant Director-General for Education. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>



Potencial de los microorganismos de montaña para usarlos como probióticos

Tarsicio Medina Saavedra¹, Lilia Mexicano Santoyo², Gabriela Arroyo Figueroa¹, Carlos Herrera Mendez¹, Emmanuel Pérez Hernández¹, Juan Picazo Ramírez¹

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Privada Arteaga s/n, Col. Centro, C.P. 38900, Salvatierra, Guanajuato, México. ²División de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Roque, Km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, C. P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. tarsicioms@hotmail.com*, lilia_lasalle@hotmail.com, g.arroyo@ugto.mx, chmendez@ugto.mx, e.perezhernandez@ugto.mx, jcpicazoramirez@ugto.mx

Introducción

Los microorganismos de montaña (MM) son un consorcio de microorganismos que provienen de ecosistemas naturales poco afectados por factores antrópicos de los que se han reportado una gran diversidad microbiana representada por bacterias ácido-lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores, solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno. Se les atribuyen numerosas aplicaciones agrícolas y pecuarias, desde el efecto en la germinación de semillas, la floración, y desarrollo de los frutos, mejorando la estructura física y fertilidad de los suelos, en la supresión a varios agentes fitopatógenos. Además, de contribuir en la descomposición de la materia orgánica durante el composteo.

En el caso de los sistemas de producción animal tienen una acción importante en la digestión y aprovechamiento del alimento, además de una influencia en el desarrollo de una inmunidad adecuada. Es importante diferenciar los términos de probióticos, prebióticos y simbióticos. Los probióticos representan todos los preparados que contienen cepas de microorganismos con la vitalidad suficiente de colonizar o implantarse para provocar un efecto benéfico en un huésped. En el caso del prebiótico son diferentes carbohidratos que estimulan en el huésped el crecimiento y desarrollo de microorganismos benéficos, regularmente de manera selectiva. Y el simbiótico está representado por la asociación de un probiótico con un prebiótico, favorece el crecimiento del primero, como es el caso de oligofruktosa y bifidobacterias.

En el sector pecuario se proporcionan probióticos a las aves de corral y rumiantes debido a que pueden mejorar el funcionamiento y capacidad productiva de los animales por un balance del microbiota intestinal, con efecto positivo en el sistema inmunitario, incremento de la digestión ya absorción de los alimentos, así como disminución de enfermedades infecciosas.



Microorganismos como probióticos

Los probióticos se definen como suplementos microbianos vivos que mejoran la composición microbiana intestinal del huésped. El término “probiótico” proviene de las palabras griegas “pro” y “bios” que significa “para toda la vida”. En el sector pecuario, se incorporan microorganismos como probióticos en el alimento o el agua de bebida de los animales con la finalidad de reducir el impacto de las enfermedades entéricas y los parámetros de producción. Estos microorganismos son utilizados como suplementos que, suministrados en cantidades adecuadas, pueden mejorar la conversión alimenticia, lo que significaría una reducción en los costos de producción.

Un aspecto importante por considerar es que un microorganismo que se va a emplear como probiótico, no debe ser patógeno. Los géneros más utilizados son *Lactobacillus*, *Bifido bacterium spp*, *Enterococcus*, *Streptococcus* y *Saccharomyces*. Estos géneros microbianos colonizan al huésped y le pueden proporcionar diversos beneficios. Sin embargo, estos microorganismos deben permanecer viables y activos en el alimento y durante el tránsito gastrointestinal, para garantizar el efecto benéfico en el huésped. La viabilidad de los probióticos está directamente relacionada con las características de la matriz alimentaria (pH, acidez titulable, oxígeno, actividad de agua, contenido de sales o azúcares), cepas utilizadas, cantidad de inóculo y las interacciones entre ellos. También se debe considerar la adición de colorantes y saborizantes.

En este sentido, el pH óptimo para el crecimiento de los microorganismos está entre un rango de 6 a 7 y prácticamente ninguna puede crecer por debajo de un pH 4.5 o por encima de 8.5. Por lo tanto, el aumento de la acidez es un factor que indirectamente contribuye en el proceso de fermentación y el crecimiento de microorganismos. Sin embargo, se ha reportado que algunas cepas utilizadas como probióticos pueden tolerar la condición ácida y podrían continuar creciendo a un pH inferior a 4. Por otra parte, se ha informado que un decremento en el pH afecta la actividad enzimática y provoca la inhibición del crecimiento microbiano. Otro factor que influye es sobre la viabilidad de los microorganismos probióticos es el agotamiento de los nutrientes para los microorganismos, ya que esto afecta la cantidad adecuada (dosis) que se debe suministrar para el consumo y por lo tanto el efecto positivo sobre el huésped.

Mecanismo de acción de los probióticos

Se ha reportado que los probióticos pueden actuar a través de diversos mecanismos en el huésped como lo son: la reducción del pH luminal; la inhibición de la adhesión de patógenos; la exclusión competitiva de microorganismos patógenos; la secreción de bacteriocinas o defensinas; la mejora de la función de barrera y la modulación del sistema inmunológico (Figura 1).



Para que un microorganismo sea considerado como un probiótico debe reunir las siguientes características: Las cepas no deben ser patógenas, ser resistentes a la acción de las enzimas proteolíticas y con esto sobrevivir al paso por el tracto gastro intestinal, conservar su estabilidad en ambientes ácidos y alcalinos, tener la capacidad de adherirse en los epitelios, producir metabolitos antimicrobianos, una acción de inmunoestimulación y mantener una estabilidad adecuada de sobrevivencia.

Dentro de las ventajas del uso de probióticos se pueden mencionar la capacidad de proteger el tracto gastrointestinal, por la acción de las bifidobacterias la producción de vitaminas del complejo B, diferentes aminoácidos y vitamina K, control de diarreas por competencia con los patógenos, la resistencia inmunológica del animal, sus enzimas favorecen a la digestión y tienen la capacidad de convertir el colesterol en una forma menos absorbible.

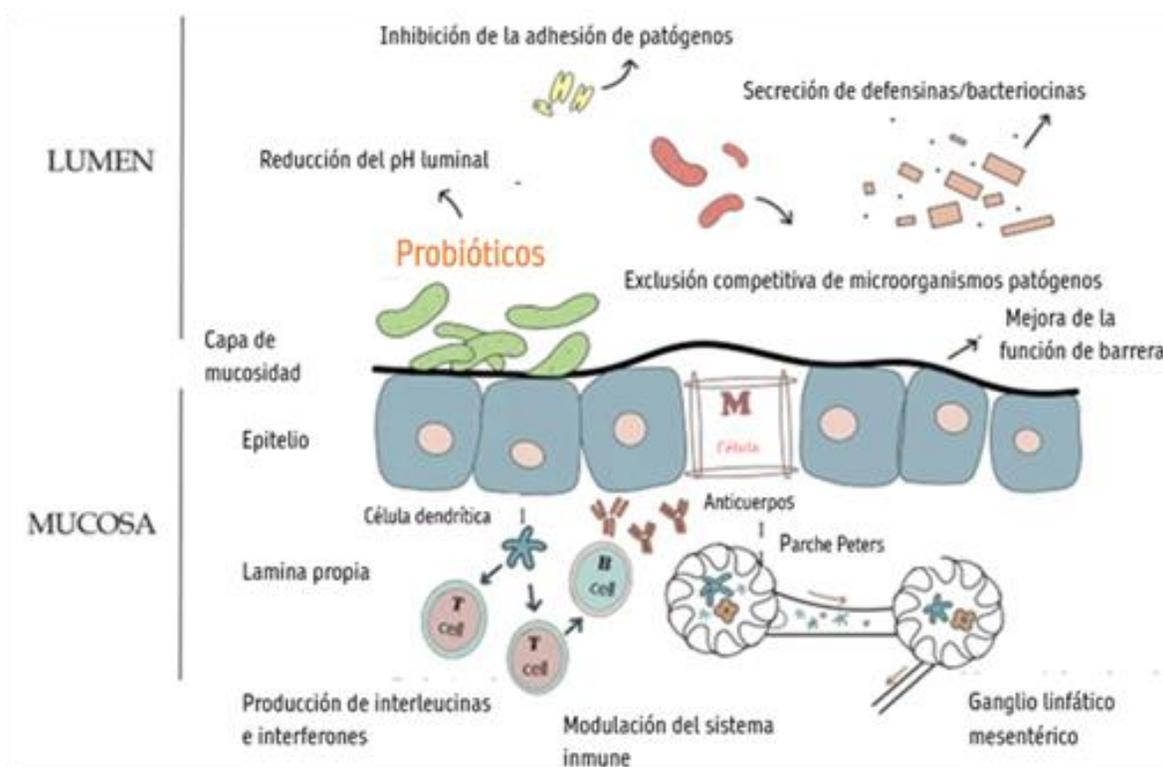


Figura 1. Mecanismos de acción de los microorganismos probióticos en el huésped.

Inhibición de la adhesión de patógenos

Para que las bacterias probióticas se puedan multiplicar es necesario que se adhieran a la mucosa y/o epitelio del intestino. Las células epiteliales están cubiertas por una capa de consistencia viscosa formada por glicolípidos y glicoproteínas (mucina). Esta consistencia protege al epitelio intestinal del daño mecánico y dificulta la colonización de



las bacterias patógenas. Los residuos de azúcar presentes en la mucina pueden actuar como ligandos de los receptores de la membrana bacteriana. Por lo tanto, las proteínas de las bacterias probióticas interactúan con la mucina impidiendo la unión de los microorganismos patógenos por exclusión competitiva.

Secreción de defensinas/bacteriocinas

Los probióticos pueden intensificar la secreción de proteínas antimicrobianas como las defensinas, catolicísimas e histaminas para eliminar patógenos. Estas bacteriocinas son péptidos biológicamente activos que tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de otros miembros de la misma especie productora o miembros de distintos géneros bacterianos. Pueden tener un espectro reducido e inhibir sólo el crecimiento de otros lactobacilos o bacterias Gram positivas, o bien pueden ser de espectro amplio e inhibir el crecimiento de bacterias Gram positivas y Gram negativas, así como de levaduras y mohos. Actúan destruyendo la integridad de la membrana citoplasmática a través de la formación de poros, lo que provoca la salida de compuestos del citoplasma o altera la fuerza motriz de protones necesaria para la producción de energía y síntesis de proteínas o ácido nucleicos. Así mismo, en los microorganismos probióticos, las células productoras de bacteriocinas son resistentes a estos péptidos antimicrobianos activos, debido a la presencia de proteínas de inmunidad presentes en la membrana celular de las bacterias productoras.

Exclusión competitiva de microorganismos patógenos

Se refiere al mecanismo por el cual una especie bacteriana compite por los sitios receptores en el tracto gastrointestinal con otras especies. La exclusión competitiva se lleva a cabo no solo mediante interacciones microbio-microbio mediadas por la unión a la mucosa del huésped en sitios de unión específica, sino también por la secreción de sustancias microbianas y la competencia por los nutrientes disponibles.

La competencia entre los microorganismos relaciona con la invasión de microorganismos patógenos, está relacionada con la generación de sustancias antimicrobianas como ácido láctico y otros ácidos de cadena corta, metabolitos como peróxido de hidrógeno, diacetilo y bacteriocina, este efecto también se le conoce como resistencia otorgada. Este tipo de resistencia se relaciona con los mecanismos de acción de los probióticos entre ellos la producción de ácido láctico y por tanto la reducción del pH inferior a 4 y aumento en la actividad de la lactasa.

Mejora de la función de barrera

La barrera intestinal epitelial consiste en una capa de mucosidad, células intestinales y el sistema inmunitario innato del intestino que funciona como un mecanismo de defensa para mantener la integridad epitelial y prevenir la infección por patógenos, así como la



inflamación excesiva. Las uniones estrechas entre las células de la mucosa son fundamentales para evitar la entrada de patógenos a la circulación. La modificación en la expresión y la redistribución de las uniones estrechas reduce la permeabilidad intestinal limitando la absorción de moléculas nocivas. Los probióticos pueden proteger al epitelio intestinal mediante la secreción de glicoproteínas de mucina para producir una capa de mucosidad densa que ayuda a disminuir la permeabilidad intracelular a los patógenos, además de modular el sistema inmunitario.

Reducción del pH intestinal

Los microorganismos presentes en el intestino pueden convertir una amplia gama de carbohidratos no digeribles en ácidos grasos de cadena corta. En este sentido, los microorganismos probióticos producen ácidos grasos de cadena corta (ácido acético, ácido láctico, ácido succínico y ácido fórmico) que reducen el pH del medio por debajo de un valor de 4 en el lumen del tracto gastrointestinal ocasionando la inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos.

Modulación del sistema inmune

Es bien sabido que el mal funcionamiento del sistema inmunitario se relaciona con el estrés y la mala nutrición. También se ha informado que el microbiota intestinal puede modular el sistema inmune mediante la producción de moléculas con funciones inmunomoduladora y antiinflamatorias. En este sentido, los probióticos secretan una gran cantidad de moléculas como péptidos y aminoácidos de bajo peso molecular en el intestino, que actúan como efectores en una compleja interacción entre la microflora intestinal, las células inmunitarias intestinales y epiteliales.

Los probióticos participan en la producción de inmunoglobulina A (IgA) mediante las células B. La inmunoglobulina IgA es un anticuerpo que es liberado en el lumen intestinal, evitando la adherencia de los patógenos en las células epiteliales. También, pueden desencadenar una respuesta antiinflamatoria del sistema inmune innato mediante la señalización de las células dendríticas, las cuales secretan citocinas antiinflamatorias como la interleucina 10 (IL-10). Finalmente, pueden influir en la fagocitosis de microorganismos patógenos mediante células fagocíticas (macrófagos) ubicadas en las regiones subepiteliales.

Las levaduras como probióticos

Se han utilizado levaduras probióticas aisladas de heces de pollos de engorde como *Kodamaea ohmeri*, *Trichosporon asahii*, *Trichosporon spp.*, *Pichia kudriavzevii* y *Wickerhamomyces anomalus*. Hay que destacar que la levadura viva favorece la respuesta inmune al aumentar el microbiota en el intestino, además de la actividad de las poliaminas y al componente similar a la pared β -D-glucano. Por su parte algunas



levaduras liofilizadas basan su efecto en los compuestos bioactivos (β -glucano, quitina y ácidos nucleicos), lo que inhibe la proliferación de bacterias dañinas. La Tabla 1 resume los efectos de las levaduras probióticas en estudios *in vitro*.

Para que resulte funcional una levadura es importante considerar que su actividad metabólica se encuentre activa y funcional, para que estimule el crecimiento y actividad microbiana y como consecuencia ayuden a degradar la fibra y un incremento de los ácidos acético, propiónico y butírico, entre otros.

A diferencia de algunas bacterias ácido-lácticas como los *Bacillus* que al generar esporas soportan las temperaturas del proceso de pelitizado del alimento, las levaduras vivas en cambio no resisten temperaturas superiores a 65 °C.

Tabla 1 Efectos de las levaduras probióticas en estudios *in vitro*.

Cepas de levadura	Tipo	Efecto
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Liofilizado	Reduce el crecimiento de <i>E. coli</i> , <i>Staphylococcus spp.</i> , <i>Salmonella spp.</i> y <i>Klebsiella spp.</i>
<i>Kodamaea ohmeri</i> , <i>Trichosporon asahii</i> ,	Levadura viva	Crece a pH bajos y altas concentraciones de sales biliares.
<i>Trichosporon spp.</i> <i>Pichia kudriavzevii</i> y <i>Wickerhamomyces anomalus</i>	Levadura viva	Alta adherencia y capacidad de aglutinación, reduce el pH intestinal y crece en condiciones de estrés.
<i>Magnusiomyces capitatus</i> ,	Levadura viva	Reduce el pH intestinal y la acumulación de ácido y aumenta la digestibilidad de la fibra detergente neutra.
<i>Candida etanolica</i> , <i>Candida paraugosa</i> , <i>Candida rugosa</i> y <i>Pichia kudriavzevii</i>	Levadura comercial liofilizada	Reduce rápidamente la población de levaduras durante las primeras 12 h de fermentación (prueba de crecimiento)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Debaryomyces hansenii</i>	Levadura viva	Alta actividad inmunomoduladora.

Reproducción y usos de microorganismos de montaña

Las propiedades del suelo, como el pH, la textura, el uso del suelo y la profundidad son factores que influyen sobre el microbiota, por tal motivo, la zona de recolección puede influir en las poblaciones presentes en las muestras, así como en el en el tipo de especies



microbianas. Se tiene información que 21 días después de la preparación de la fase sólida puede haber presencia de hongos filamentosos en la superficie de la mezcla sólida, además, de que esta mezcla puede presentar un olor agridulce, lo que indica un buen proceso de fermentación, además se ha reportado la presencia de levaduras durante la reactivación de los microorganismos de montaña en fase líquida.

Algunos autores han reportado un valor superior a $8 \log_{10}$ UFC/mL en activados líquidos de MM durante el día 4, mientras que otros informaron $6.47 \log_{10}$ (UFC/mL), $7.6 \log_{10}$ (UFC/mL) y $7.95 \log_{10}$ (UFC/mL) durante la activación de microorganismos en fase líquida a las 24, 48 y 72 horas.

En algunas investigaciones se ha reportado la adición de $7.39 \log_{10}$ (UFC/L) hasta $8 \log_{10}$ (UFC/L) de probióticos en pollos de engorda. En este sentido, se ha destacado que al usar microorganismos eficientes a concentraciones de 10^5 UFC/mL como probióticos en aves se incrementa la flora bacteriana intestinal, lo que contribuye al mejoramiento en el aprovechamiento nutricional del alimento y la digestibilidad de este. Además, de que favorecen al incremento la energía metabolizable lo cual incide en la ganancia de peso de estas. También se han reportado pesos vivos promedios de 2167.02 g en pollos de engorda al proporcionar microorganismos de montaña en el agua de bebida al 10% y 2245.69 g al suministrar los microorganismos de montaña en el alimento (3%). Por otra parte, se han encontrado diferencias estadísticas significativas al aplicar MM en pollos de engorda en el agua de bebida al 17% durante un periodo de evaluación de 35 a 42 días registrando una mayor ganancia de peso al aplicar el tratamiento en el agua de bebida.

Al suministrar un cultivo microbiano casero y un probiótico comercial en pollos de engorde se incrementa en la ganancia de peso y se obtienen valores más bajos en conversión alimenticia. Este efecto positivo se puede obtener al emplear *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus acidophilus*, *cassei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rodhopseudomona palustres* debido a que la flora bacteriana desempeña un papel importante en el proceso de la digestión, ya que produce enzimas que promueven la asimilación de proteínas, lípidos y carbohidratos y la mejora en la ganancia de peso se le atribuye a que las bacterias ácido-lácticas proporcionan nutrientes digeribles, vitaminas y enzimas digestivas, lo cual facilita el metabolismo de los alimentos.

Sin embargo, otras investigaciones reportan que no hay diferencias significativas al aplicar 5, 7.5, 10, 15 y 20% de microorganismos como probióticos en el agua de bebida sugiriendo que la adición de microorganismos no influye en gran medida en la ganancia diaria de peso. De acuerdo con lo antes mencionado, el tipo de microorganismos utilizados y la dosis suministrada son factores que influyen sobre el efecto positivo o negativo en los animales al momento proporcionárselos como probióticos en el alimento o en el agua de bebida.



Conclusión

Los microorganismos de montaña representan una opción de uso en el área agropecuaria poco explorada, el empleo como probióticos en el sector pecuario por las funciones que representan, se han tenido resultados prometedores al probar que con una adecuada técnica de reproducción se logran beneficios para los animales que lo consumen.

Referencias

- Al-Shawi, S. G., Dang, D. S., Yousif, A. Y., Al-Younis, Z. K., Najm, T. A., Matarneh, S. K. (2020). The potential use of probiotics to improve animal health, efficiency, and meat quality: a review. *Agriculture*, 10(10), 452. MDPI AG. Retrieved from doi.org/10.3390/agriculture10100452
- Anee, I. J., Alam, S., Begum, R. A. (2021). The role of probiotics on animal health and nutrition. *JoBAZ* 82, 52. doi.org/10.1186/s41936-021-00250-x
- Ashaolu, T. J. (2020). Immune boosting functional foods and their mechanisms: A critical evaluation of probiotics and prebiotics. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 130, 110625. [doi:10.1016/j.biopha.2020.110625](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110625)
- Castillo-Amador, C. J., Urbina-Zambrana, G. A. (2014). *Evaluación del uso de microorganismos de montaña como probióticos naturales líquidos y sólidos en pollos de engorde, finca Santa Rosa, Managua*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/3152/1/tnq52c352.pdf>
- Castro-Barquero, L., González-Acuña, J. (2021). Factores relacionados con la activación líquida de microorganismos de montaña (MM). *Agronomía Costarricense*, 45(1), 81-92. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242021000100081&lng=en&tlng=es
- González-Martínez, B. E., Gómez-Treviño, M., Jiménez-Salas, Z. (2003). Bacteriocinas de probióticos. *RESPYN*, 4(2). <https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2003/spn032g.pdf>
- La Fata, G., Weber, P., Mohajeri, M. (2018). Probiotics and the gut immune system: indirect regulation. *Probiotics Antimicrobial Protein*. 10, 11–21 doi.org/10.1007/s12602-017-9322-6
- Iñiguez-Palomares, C., Acedo, F. E. (2006). Mecanismos de adhesión al tracto intestinal y antagonismo de bifidobacterium. Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/download/168/150>



- Liew, Y. K., Aung, K., Chan, L. L. (2022). Probiotic viability, pH and lactic acid concentration of opened commercial probiotic dairy drinks stored at different temperatures and durations. *Bull Natl Res Cent* 46, 216. doi.org/10.1186/s42269-022-00912-y
- Markowiak, P., Śliżewska, K. (2018). The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, 10, 21 doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0
- Mazziotta, C., Tognon, M., Martini, F., Torreggiani, E., Rotondo, J. C. (2023). Probiotics mechanism of action on immune cells and beneficial effects on human health. *Cells*, 12(1), 184. doi.org/10.3390/cells12010184
- Melara, E. G., Avellaneda, M. C., Valdivié, M., García-Hernández, Y., Aroche, R., Martínez, Y. (2022). Probiotics: symbiotic relationship with the animal host. *Animals* (Basel). 12;12(6):719. doi: 10.3390/ani12060719
- Monteagudo-Mera, A., Rastall, R. A., Gibson, G. R. (2019). Adhesion mechanisms mediated by probiotics and prebiotics and their potential impact on human health. *Applied Microbiology Biotechnology*, 103, 6463–6472. doi.org/10.1007/s00253-019-09978-7
- Negash, A. W., Tsehai, B. A. (2020). Current Applications of Bacteriocin. *International Journal of Microbiology*, 1–7. doi:10.1155/2020/4374891
- Plaza-Díaz, J., Ruiz-Ojeda, F. J., Gil-Campos, M., Gil, A. (2019). Mechanisms of Action of Probiotics. *Advances in Nutrition*, 10(1), S49–S66. doi:10.1093/advances/nmy063
- Reyes-Esparza, J. A., Rodríguez-Fragoso, L. (2012). Los probióticos: ¿cómo una mezcla de microorganismos hacen un gran trabajo? *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 43(1), 7-17. ISSN: 1870-0195
- Rondon, L., Añez, Z. M., Salvatierra, H., Anadina, M., Barrios, R. T., Heredia, R. M. T. (2015). Probióticos: generalidades. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 78(4), 123-128. Recuperado en 31 de marzo de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06492015000400006&lng=es&tlng=es



Potencial bioenergético de *Agave cupreata*

Vianey Moreno Dimas^{1*}, Dolores Vargas Álvarez¹, Antonio Cortés Guzmán¹, Roxana Reyes Ríos², Flaviano Godínez Jaime³

¹Facultad de Ciencias Químico Biológicas (UAGRO), ²Facultad de Ciencias Naturales (UAGRO), ³Facultad de Matemáticas (UAGRO). vmd_96@hotmail.com*, dvargas@uagro.mx, 09443@uagro.mx, roxx_r@hotmail.com, fgodinezj@uagro.mx

Antecedentes

De acuerdo a la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, se busca promover la producción de insumos para Bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país de conformidad.

El *Agave* es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia Agavaceae e incluye diversas especies. En general las especies de *Agave* se cultivan en climas tropicales, subtropicales y zonas de clima árido de México, siendo los estados de Guanajuato, Guerrero, el Estado de México, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz e Hidalgo los principales productores de agave.

Después de este estado se encuentra Guerrero como segundo mejor productor de mezcal artesanal más importante de México. Su producción alcanza 1.5 millones de litros al año, equivalentes a 180 millones de pesos. El mezcal guerrerense es reconocido por su excelente calidad y característico sabor gracias al *Agave Cupreata*.



Figura 1. Cultivo de *Agave cupreata* en Guerrero.



El *Agave cupreata* es una especie típica y más cultivada por diversos productores de mezcal en Guerrero (Fig.1), con una estructura constituida principalmente de carbohidratos, sobresaliendo con mayor cantidad carbohidratos complejos.

Los azúcares reductores son de gran importancia en las industrias, y actualmente de gran interés en el área de los biocombustibles para la obtención de bioetanol, siendo este una alternativa para abastecer el área de los biocombustibles, por ejemplo, Brasil y Estados Unidos con la caña de azúcar y maíz respectivamente, además de otros usos comerciales como la obtención de fibras, derivadas generalmente de las hojas.

En el proceso de producción de mezcal de *Agave cupreata*, las hojas que representan el 46 % del total del peso de la planta y las cuales no se utilizan en ningún otro proceso, convirtiéndose en un producto de desecho. La utilización de residuos agrícolas para el uso en la producción integral de bioetanol, producto de la fermentación alcohólica de los azúcares reductores, se consideran una alternativa viable y sustentable que no pone en riesgo la seguridad alimentaria de la población. Por lo que el objetivo de este trabajo fue la búsqueda de información acerca del posible potencial bioenergético de *A. cupreata* en localidades del estado de Guerrero.

Metodología

Se realizó una investigación bibliográfica a través de libros editoriales, artículos y revistas indexadas y no indexadas. La búsqueda de información se realizó en sitios como PubMed, Medigraphic y ScienceDirect, utilizando los siguientes términos: potencial bioenergético, *Agave cupreata*, agave en Guerrero, producción de agave en México y azúcares reductores.

Además, se identificaron fuentes no indexadas a través de sitios web de salud e informes de agencias de salud internacionales. Se tomaron en consideración los cultivos de agave en Guerrero, así como otros cultivos de agave utilizados con antecedentes de uso bioenergético. De lo anterior se encontró que, las materias primas que crecen en tierras semiáridas podrían ser una respuesta sustentable a la creciente demanda de combustibles renovables que no entren en conflicto con la producción de alimento.

Entre los principales estados con mayor producción de mezcal en México se encuentra Guerrero, donde la producción se realiza en más de 80 localidades ubicadas en 18 municipios de las regiones Centro, Costa Grande, Tierra Caliente, Norte y Montaña. Donde se elabora mezcal a partir del maguey papalote (*Agave cupreata*), el cual aún se colecta en colonias silvestres (Fig. 2)



Figura 2. *Agave cupreata*. Llamado maguey papalote, papalotl (náhuatl) mariposa o gordito, por la forma de sus pencas.

El *Agave*, además de su uso en la producción de bebidas alcohólicas y fibras, es una materia prima única por su alta eficiencia de uso del agua y su capacidad de sobrevivir sin agua entre las lluvias, se desarrolla en regiones semiáridas lo que le da potencial como materia prima para la bioenergía. Por el contenido de azúcares reductores en algunas especies de *Agave* se han considerado promisorias para ser utilizadas en la obtención de alcoholes no sólo para bebidas alcohólicas sino también con fines energéticos con baja huella hídrica y de carbono.

Esta capacidad se debe a que el género *Agave* está compuesto exclusivamente por plantas CAM obligadas, que prosperan en condiciones que no son adecuadas para los principales cultivos alimentarios, ya que asimilan el carbono por la noche, disminuyendo así el gradiente de difusión del agua fuera de las hojas y mejorando la eficiencia del uso del agua. Por lo tanto, las plantas de agave tienen el potencial de complementar los cultivos bioenergéticos convencionales.



A partir de los azúcares presentes en el bagazo de agave se realiza una digestión anaerobiamente para la producción de biogás o hidrolizarse y fermentarse para producir bioetanol. Especies de *Agave* como el caso de *Agave cocui* ha demostrado tener la cantidad de azúcares totales y reductores en hoja y piña adecuado para la obtención de bioenergéticos, por lo que, *A. cupreata* podría considerarse candidato probable en aplicaciones bioenergéticas. Además de ampliar el uso de otras especies no necesariamente nativas y considerando la sensibilidad idónea para algunas especies de agave que se encuentran restringidas por variables climáticas, que resultan ser un factor importante para determinar el área adecuada de cultivo, ya que las temperaturas extremas son el criterio más influyente que restringe el área de tierra apta para el cultivo de agave en algunas regiones. De modo que, una especie de *Agave* con una tolerancia relativa a cambios de temperatura, con altos rendimientos, tendrá una clara ventaja como materia prima bioenergética.

Es importante mencionar que en la mayoría de los casos el peso de la piña tiende a ser mayor que al de la hoja (Fig.3). Sin embargo, estas hojas no son utilizadas en ningún otro proceso convirtiéndose en un producto de desecho, puesto que, durante la etapa de producción de mezcal las hojas son retiradas por medio del proceso de jimado para adquirir las piñas, las cuales son utilizadas para la obtención de alcohol. Es importante resaltar que las hojas tienen un valor por su contenido de azúcares reductores totales que oscila entre 3.3 a 16.1% en peso fresco en otras especies.

Cabe resaltar que, si bien la cantidad de azúcares no es apta para su uso bioenergético en algunas especies de *Agave*, aun puede considerarse para otros fines como la obtención de fibras en la industria textil (Fig. 4). La cantidad de fibras seca puede variar según la especie. Se ha observado que la cantidad de jugo en piña en el Agave (figura 2) presenta variaciones de acuerdo a la especie, que corresponde del 35% de peso en jugo hasta el 51.4% del peso total y el resto a las hojas.

Otro punto importante a considerar es el control de las variables en todos los procesos como en el caso del proceso de cocción, ya que los polisacáridos, principalmente los de reserva (fructanos), son hidrolizados por la acción de la acidez del jugo para obtener un jarabe rico en fructosa, por consiguiente, el controlar estas variables permitiría mejorar la cantidad de azúcares obtenidos. Además de tratarse de biomasa lignocelulósica se requiere un pretratamiento para aumentar su biodegradabilidad y en especial incrementar el rendimiento de los azúcares, que son compuesto clave para la digestión anaerobia y la fermentación, de esta manera tener un mejor aprovechamiento.



Figura 3. Piñas de agave.



Figura 4. Almacenamiento de bagazo de agave.



Conclusiones

Se debe considerar a *A. cupreata* como potencial bioenergético para la producción de bioetanol, además de su uso en la industria textil. Así como, el uso de nuevas especies de *Agave* para su uso bioenergético.

Referencias

- Agricultura Guerrero. Gobierno de México. (2023). de: <https://www.gob.mx/agricultura/guerrero/es/articulos/guerrero-y-su-tradicional-bebida-el-mezcal-segundo-lugar-en-produccion?idiom=es>
- Avendaño-Arrazate, C. H., Iracheta-Donjuan, L., Gódinez-Aguilar, J. C., López-Gómez, P., Barrios-Ayala, A. (2015). Morphological characterization of endemic *Agave cupreata* species of Mexico. *Phyton*, 84 (1): 148-162. doi:10.32604/phyton.2015.84.148
- Davis, S., Dohleman, F., Long, S. (2011). The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *Global Change Biology: Bioenergy*. 3(1): 68-78. doi:10.1111/j.1757-1707.2010.01077.x
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2008). Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (DOF-01-02-2008). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México. 12 p.
- Escoto-García, T., Vivanco-Castellanos, E., Lomelí-Ramírez, M., Arias-García, A. (2006). Tratamiento fermentativo – químico – mecánico del bagazo de maguey (agave tequilana weber) para su aplicación en papel hecho a mano. *Revista Mexicana de ingeniería química*, 5: 23-27. <https://acortar.link/Pnb5iX>
- Estrada, A., Weber, B. (2022). Biogás y bioetanol a partir de bagazo de agave sometido a explosión de vapor e hidrólisis enzimática. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. 2022:1-10. doi:10.22201/fi.25940732e.2022.23.2.009
- Garrone, M. (2014). Piñas. Mezcalistas. Tomado el 05 de septiembre de 2023. <https://www.mezcalistas.com/pinas/>
- Lewis, S. M., Gross, S., Visel, H., Killy, M., Morrow, W. (2014). Fuzzy GIS-based multi-criteria evaluation for US Agave production as a bioenergy feedstock. *GCB Bioenergy*. 7, 84-99. DOI: org/10.1111/gcbb.12116



-
- Montañez, J. L., Victoria, J. C., Flores R., Vivar, M. A. (2011). Fermentación de los fructanos del *Agave tequilana* Weber Azul por *Zymomonas mobilis* y *Saccharomyces cerevisiae* en la producción de bioetanol. *Información Tecnológica*. 22(6), 3-14. doi:10.4067/S0718-07642011000600002
- Salas-Tornés, J., Hernández-Sánchez, L. Y. (2015). Mezcal *cupreata*, fuente de admiración. *Ciencia*. 1: 40-47
- Valdés-Ordoñez, A., Huerta-López, R. C., Rojas-Aguilar, A., Núñez-Galindo, Y. (2017). Bioetanol a partir del maguey (*Agave americana*) y su prospectiva en México. *Ciencias ambientales y recursos naturales*, 3(9): 29-38.



Presencia de áfidos en cultivos tropicales

Miguel Ángel Ramírez Guillermo^{1*}, Sabel Barrón Freyre¹, Mario Rodríguez Cuevas¹, Dante Sumano López¹, Izamar López Domínguez²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Huimanguillo (CEHUI), km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas. Huimanguillo, Tabasco. México. ²Laboratorio de Fitopatología CEHUI. ramirez.miguel@inifap.gob.mx*, barron.sabel@inifap.gob.mx, rodriguez.mario@inifap.gob.mx, sumano.dante@inifap.gob.mx

Introducción

Los áfidos o pulgones son insectos plagas de importancia agrícola y económica a nivel mundial representan un riesgo para la seguridad alimentaria; de origen en zonas templadas y que se han adaptado a los climas tropicales, por lo que tienen una amplia distribución geográfica. causan daños y limitan la producción de los cultivos agrícolas y otras plantas.

Los pulgones (Hemiptera: Aphididae) son un grupo con 24 subfamilias y más de 5000 especies en todo el mundo. La diversidad de especies de áfidos es mayor en las regiones templadas del hemisferio norte. Alrededor de 100 especies tienen una importancia económica para los cultivos agrícolas. En México se han registrado 205 especies y el 25% es de importancia agrícola. La temperatura es un factor importante que determina el crecimiento y reproducción del insecto y de la población. Las hormigas tienen una asociación simbiótica con los áfidos, ya que estas se alimentan de las secreciones de melaza.

Distribución mundial de los áfidos

Los áfidos (Aphididae), son de los grupos de insectos con mayor número de especies atacando cultivos de importancia económica, esto debido a sus características biológicas, por lo que estas plagas son consideradas como plagas más dañinas desde el punto de vista agronómico. Tienen sus orígenes en las zonas templadas, con una amplia distribución geográfica, en donde hasta el momento se han descrito cerca de 5 000 especies, agrupadas en aproximadamente 600 géneros. Muchas de estas especies se alimentan de árboles, de los grupos más antiguos que se conocen son Coniferae, Lauraceae, Fagaceae, Betulaceae, Hamamelidaceae, Ulmaceae y Juglandacea. Lo que indica que estos insectos aparecieron antes que las plantas herbáceas, donde se han registrado más de 300 familias de plantas herbáceas que son hospedantes de áfidos.

El desarrollo de los áfidos ha sido más notable en las zonas con climas templados, con pocas especies en las zonas tropicales. Sin embargo, su desarrollo en estos climas es más agresivo, pero por estas mismas condiciones, existen más grupos de insectos que



controlan estas poblaciones al ser depredadores. A pesar de esto, el ataque de áfidos en especies de árboles tropicales de importancia económica ha sido escaso, enfocándose más en cultivos anuales o de ciclo corto. A nivel mundial los áfidos son transmisores del al menos el 75 % de las enfermedades de origen viral en hortalizas.

Áfidos presentes en México

En México se han registrado 205 especies de áfidos, donde el 26% de estas se consideran de importancia agrícola y se reportan parasitoides, depredadores y entomopatógenos como agentes de control biológico. Por la distribución geográfica de México, existe una diversidad de climas que permiten a los áfidos desarrollarse de diferente forma, atacando cultivos de importancia económica. Los cultivos con mayor superficie establecida, así como lo de manejo intensivo son los más susceptibles. En cereales las especies más comunes son *Sitobion avenae*, *Metopolophium dirhodum*, *Rhopalosiphum padi* *Diuraphis noxia*, *Schizaphis graminium*. Este último con mayores poblaciones en cultivos de cebada y trigo. En hortalizas, como lo es el tomate, el chile serrano, jalapeño, papa, además de plantas ornamentales, son cultivos de manejo intensivo, que se distribuyen en casi todo el país. De las especies que atacan a cultivos hortícolas, las más conocidas son: *Aphis fabae*, *Aulacorthum solani* *Aphis gossypii*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Brevicoryne brassicae*, *Myzus persicae* y *Aulacorthum solani*.

Daños en los principales cultivos del trópico húmedo

Los áfidos, en sus diferentes estadios, son capaces de causar daño a la planta hospedante de forma directa durante su alimentación, y de manera indirecta por secreciones y desarrollo de hongos oportunistas. Por la forma de su aparato bucal, su hábito de alimentación picador-chupador, causa daño directo cuando este succiona nutrientes de la planta en la que se aloja, insertando su estilete en donde succionan savia para su alimentarse, además de que inyectan compuestos tóxicos que pueden causar deficiencias como una clorosis, además de necrosis de la parte afectada de la planta, disminuyendo el área foliar y por ende, su capacidad fotosintética. Otro daño indirecto se lleva a cabo en la alimentación ya que también pueden actuar como vectores de virus, así mismo están estrechamente asociados con otros microorganismos como endobacterias. Por ejemplo, en plantaciones de cítricos el pulgón *Toxoptera citricida*, trasmite el virus de la tristeza de los cítricos (VTC), enfermedad que ha matado millones de árboles en el mundo y no tiene cura.

Además se le atribuye a este mismo vector y *Aphis spiraecola* a la enfermedad de (Muerte descendente en cítricos Brasil) Los daños que causan los diferentes géneros en cultivos es de amplio espectro en gramíneas, el cual uno de los cuales es de reciente presencia en México (febrero de 2014) es el pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) en cultivo de sorgo, caña de azúcar, aunque también ataca cultivos de otro tipo de clima al trigo, avena



y cebada, cuyo daño es considerable y devastador si no se controla.

La gravedad del daño depende de la densidad de la población y la habilidad de la planta a tolerar altos niveles de la población. La dinámica poblacional de los áfidos puede ser afectado por factores bióticos (planta resistente, presencia de enemigos naturales parasitoides, depredadores y entomopatógenos) y abióticos (temperatura, humedad y luminosidad). La gravedad del daño depende de la densidad de la población y la habilidad de la planta a tolerar altos niveles de la población. La dinámica poblacional de los áfidos puede ser afectado por factores bióticos (planta resistente, presencia de enemigos naturales parasitoides, depredadores y entomopatógenos) y abióticos (temperatura, humedad y luminosidad). La producción de mielecilla excretada por los insectos se acumula en el haz de las hojas y los frutos, dando lugar al hongo negro *Capnodium* sp. (fumagina), que reduce la actividad fotosintética de las hojas.

Hospedantes

Los áfidos atacan un sinnúmero de cultivos y son capaces de hospedarse sobre malezas y durante sus diferentes estadios ocasionan daños a la planta (en hojas, tallo y parte de las flores y del cogollo), con lo que causan marchitez, amarillamiento y pudrición. Las especies de áfidos tienen un amplio rango de plantas hospedantes que resultan ser complejos de biotipos especializados en huéspedes. Los pulgones o áfidos se alimentan principalmente de savia que absorben del tejido del xilema de las partes vegetativas nuevas de las plantas (rebrotos, hojas nuevas y flores) y causan arrosamiento de las hojas.

El mutualismo es una relación fundamental que puede dar forma a las comunidades de especies a través de adaptaciones coevolutivas y también tiene una gran capacidad para cambiar las funciones de los ecosistemas. Los pulgones y las hormigas son grupos de insectos comunes que se distribuyen ampliamente en todo el mundo. Las relaciones mutualistas entre ellos son de importancia, en tanto que el pulgón provee de mielecilla a las hormigas para su alimentación, las hormigas a cambio dan protección de los enemigos naturales.

El medioambiente y el ciclo de vida de los áfidos

Entre las características principales de los áfidos (Tabla 1), podemos mencionar las siguientes: antenas filiformes de 3-6 segmentos, el último está dividido en una base y un proceso terminal, con dos rinarios primarios en el ápice del penúltimo segmento y otro en la base del último segmento. Ojos compuestos con tubérculo ocular en alados, pudiendo ser reducidos a triomatidios en ápteros. Sifúnculos abdominales presentes en el tergito V, último segmento abdominal en forma de cauda, placa anal y genital posterior a la caudal.

**Tabla 1. Principales cultivos en el trópico húmedo de Tabasco afectados por áfidos.**

Cultivo	Superficie (ha)	Áfidos	Vector	Parte afectada
<i>Theobroma cacao</i> L.	34, 260	<i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Foscolombe, 1841)		hojas jóvenes, brotes, tallos suculentos (chupones) y pedúnculos florales
<i>Citrus</i>	15, 403	<i>Toxoptera citricida</i> (Kirkaldy)	VTC	enrollamiento de las hojas y distorsión de brotes inmaduros
<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench	115	<i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner)	SCMV, ScYLV	Afecta en el envés de las hojas
<i>Saccharum officinarum</i>	41, 511	<i>Rhopalosiphum maidis</i> (Fitch)	virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV)	Cogollo y espigas
<i>Oriza sativa</i>	1, 534	<i>Rhopalosiphum padi</i> (Linnaeus)	y el virus del mosaico en caña de azúcar	Tallo
<i>Zea mays</i>	39, 731		Virus de la mancha anular del papayo (VMAP)	Envés de las hojas

Los áfidos son insectos fitófagos, succionadores de savia y usualmente viven en colonias, miden de 1 a 5 mm de longitud, de cuerpo globoso, blando, desnudos o cubiertos de excreciones cerosas, de movimientos relativamente lentos. Son insectos que pueden habitar en cualquier parte de la planta, alimentándose de las hojas, ramas, base de los tallos o raíces, frecuentemente están asociados con hormigas.

Los pulgones son pequeños, de cuerpo suave, de forma circular o fusiforme con un par de cornículos y pueden ser ápteros o alados. Las hembras aladas colonizan nuevos rebrotes y producen las ninfas; de forma partenogenética. La temperatura es uno de los factores de importancia, ya que favorecen el crecimiento de las poblaciones de áfidos, afectando las tasas de desarrollo, reproducción y supervivencia.

Se reproducen partenogenéticamente; es decir, las hembras se reproducen sin fertilización. Un pulgón hembra produce 50-100 ninfas a lo largo de su vida, las nuevas ninfas pasan por cuatro instar hasta alcanzar la etapa adulta y comienzan a reproducirse en 6-8 días. De manera general, el ciclo de desarrollo de los pulgones va de 8 a 14 días, con dos generaciones de 1.4 ninfas/día durante 20 días, con temperaturas entre 15-25°C



existe una mayor fecundidad ya que alcanzan la madurez sexual en menor tiempo y se nota baja mortalidad, contrario cuando las temperaturas se incrementan.

El total de estadios inmaduros desde el nacimiento hasta el adulto disminuye a medida que la temperatura aumenta de 51.7 día a 6°C a 5.2 día a 30°C y 8.0 día a 35°C. El desarrollo inmaduro general requiere de 119.05 grados-día por encima de 4.44°C. La longevidad de los adultos es de 26.7 días a 15 °C, pero disminuye cuando la temperatura es de 30 y 35 °C. La alta fecundidad de los áfidos dificulta su control, por ello es importante la aplicación de medidas fitosanitarias que mantengan bajo un umbral económico Para su control biológico se han reportan parasitoides, depredadores y entomopatógenos como agentes efectivos de control, basado en el conocimiento de la dinámica poblacional, ya que esta es afectada por los factores bióticos como los depredadores (catarinas y crisopas), parasitoides (sirfidos) y Iso entomopatogenos (*Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill, *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin y *Iecanicillium lecanii* (Zimm.)) y abióticos (temperatura, humedad, luminosidad).

Estudio de caso de áfidos del género *Rhopalosiphum* (Hemiptera: Aphididae) en el trópico húmedo de México

Durante el año 2021 a nivel mundial se produjeron aproximadamente 1.1 billones de toneladas de maíz, de dicho volumen una tercera parte provino de la agricultura estadounidense, y México ocupó el sétimo lugar en la producción mundial de este grano.

El maíz es el cereal de mayor importancia para el consume de los mexicanos en el año 2021 se cultivó en 7 millones 310 mil hectáreas cifra 2.2 % menor que el año anterior con un rendimiento medio de 3.9 t ha⁻¹, sin embargo, su producción fue 27 millones 503 mil toneladas, 0.3 % mayor a la de 2020. El consumo anual per cápita es de 346.4 kg y representa el 88.2 % de la producción nacional de granos. Los estados que mayor volumen de producción aportaron en 2021 son Sinaloa y Jalisco con 5,535,561 t y 3,945,528 t respectivamente.

En Tabasco la superficie sembrada de maíz en el año agrícola 2021 es de 89,803 hectáreas con un rendimiento medio de 1.95 t ha⁻¹, el volumen de producción es de 169,900.15 toneladas y solo representa el 0.62 % del volumen total para dicho año, involucrando a 35 mil productores. Los municipios de Tabasco con la mayor superficie sembrada son Balancán, Huimanguillo, Tacotalpa, Cárdenas y Tenosique con 20,168, 11,709, 8,919, 7,345 y 7,160 hectáreas respectivamente, entre ellos aportan el 61.6 % de la superficie registrada para dicho año.

La calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber), es una planta anual que se cultiva bajo un sistema tradicional en Tabasco, principalmente en la región de Los Ríos en los

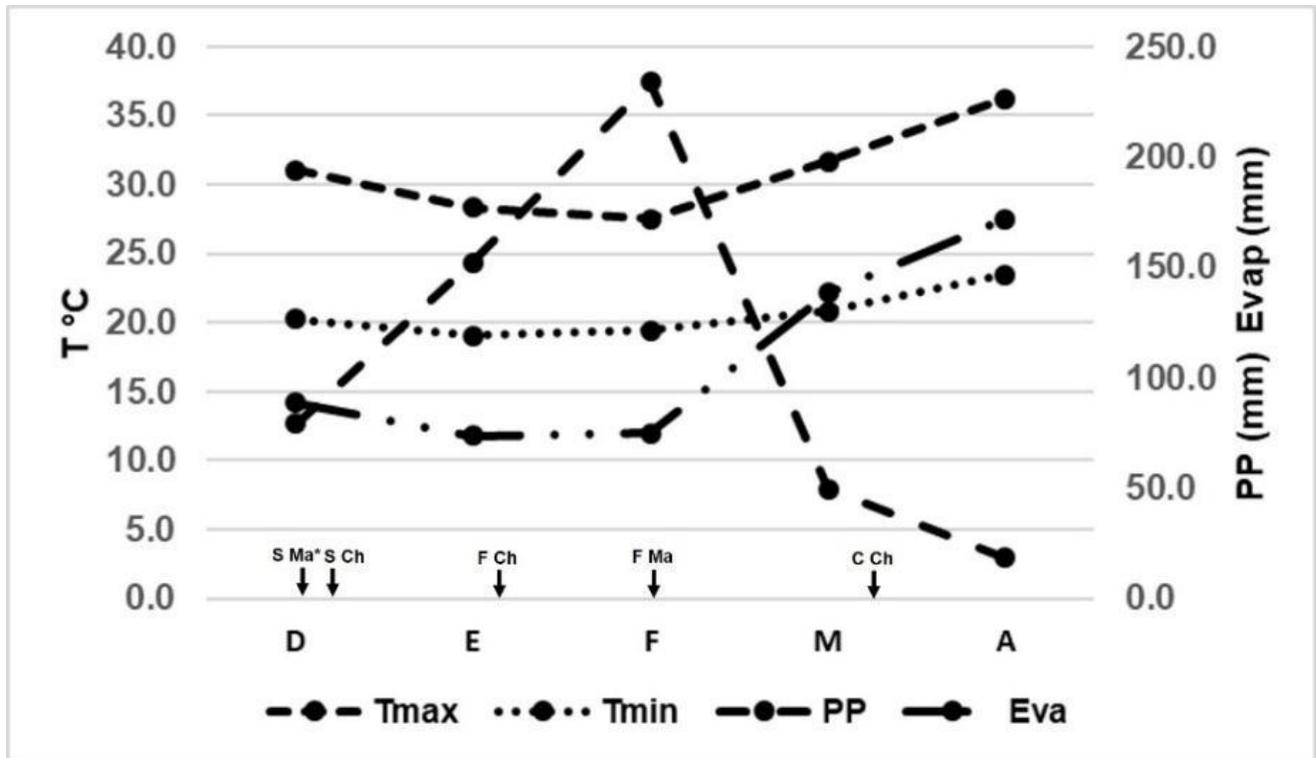


municipios de Balancán y Tenosique. En el año 2019 se sembraron 7,638 hectáreas y para el año 2020, fueron establecidas 8,487 hectáreas. Con rendimientos medios de 480 y 440 kg ha⁻¹, con volumen de producción de 3,552.6 y 3,900 toneladas respectivamente. Este último con un valor de producción de \$ 115,976 miles de pesos. El precio en el medio rural oscila los \$30.6 por kilogramo; este cultivo para los productores de los municipios señalados representa un factor económico importante en sus unidades de producción ya que el total de la semilla se comercializa. Ambos cultivos son afectados por plagas y enfermedades que causan graves daños en la producción.

En el ciclo otoño-invierno del 2021-2022 se notó la presencia de áfidos afectando cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) en la zona del trópico húmedo de Tabasco, cultivados en un suelo Fluvisol éutrico, de textura franco arcilloso-arenosa, pH de 5.8, materia orgánica (3.2 %), nitrógeno total 0.12%, fósforo 9.85 mg kg⁻¹ y potasio 0.25 cmol kg⁻¹. Durante el desarrollo fenológico hasta la cosecha de ambos cultivos se registró una precipitación total de 533.4 mm, la temperatura máxima osciló entre 27.5 a 36.2°C en tanto que la mínima fue de 19.1 a 23.5°C, en cuanto a la evaporación de enero-febrero 2022 fue baja de 73.9 a 74.8 mm con un promedio diario de 2.4 a 2.7 mm respectivamente, a diferencia, en marzo se incrementó a 4.5 mm por día (Fig. 1)

De acuerdo al estudio realizado, en ambos cultivos se encontraron dos especies del género *Rhopalosiphum* (Hemiptera: Aphididae) (Fig. 2). En *Z. mays* se notó mayor población del afido *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Fig. 2c,d) y pocos individuos de *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) (Fig. 2g,h), caso contrario en *C. argyrosperma* *R. padi* (Linnaeus) fue la población dominante. Se notó la presencia de momias de *R. padi* con apertura de salidas de su depredador y en otras momias con presencia de larvas en proceso de desarrollo.

R. maidis (Fitch) también nombrado pulgón del cogollo, de color verde olivo a verde azulado, de 1.4 a 2.0 mm de largo y de 0.5 a 0.7 mm de ancho, el largo de la antena de 0.5 a 0.7 mm. Presenta sífúnculos cortos, cauda digitiforme corta, frente sinuosa, antena con seis artejos, el VI con el proceso terminal dos veces más largo que la base.



Nota: * S Ma: Siembra maíz-chihua; F Ch: Floración chihua-maíz; C Chi: Cosecha chihua-maíz.

Figura 1. Condiciones ambientales presentes en el CEHUI, para ambos cultivos del estudio.

En México se reportó por primera vez en 1959, actualmente afecta a los cultivos de cebada, sorgo, trigo, arroz y maíz, es un vector importante del virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) y el virus del mosaico en caña de azúcar. Un estudio realizado en 1982, en el estado de Tabasco indican afectación del áfidos en *Z. mays* y *C. moschata*. El comportamiento reproductivo es de forma anholocíclica (asexual). Las temperaturas favorables para el desarrollo y fecundidad de *R. maidis* son de 21 a 24°C y mayor a 27°C la fecundidad es afectada.

R. padi (Linnaeus) comúnmente conocido como pulgón del follaje, de color verde oscuro con manchas naranjas, de 1.5 a 2.0 mm, presenta sífúnculos largo, frente sinuosa, el artejo antenal VI con proceso terminal más de dos veces el largo de la base. Se reportó por primera vez en México en 1972, presenta dos formas de reproducción anholocíclica y androcíclica, se ha observado afectando cultivos de trigo, cebada, avena, arroz y sorgo, vector del virus del achaparramiento amarillo de la cebada. El ciclo biológico de *R. padi* es de 28 y 38 días de acuerdo con la forma áptera y alada, respectivamente.



El daño más evidente que *R. maidis* y *R. padi* causaron fue la clorosis de las hojas y amarillamiento de las hojas (Fig. 2 a,e). En el caso de *Z. mays* el daño se presentó a los 54 días de su establecimiento. Para *C. moschata* al inicio de la floración a los 40 días y a los 9 días posteriores se observaron los áfidos en el envés de la hoja y otros órganos (fig. 2b,f). Se observó momias con larvas de parasitoides en *R. padi*, evidenciando el control natural o biológico. La baja evaporación y la presencia de humedad por lluvias es un indicador para asumir que la planta no se encuentra en estrés hídrico, a diferencia de una alta evaporación con baja precipitación puede crear condiciones para que la planta presente síntomas de estrés hídrico.

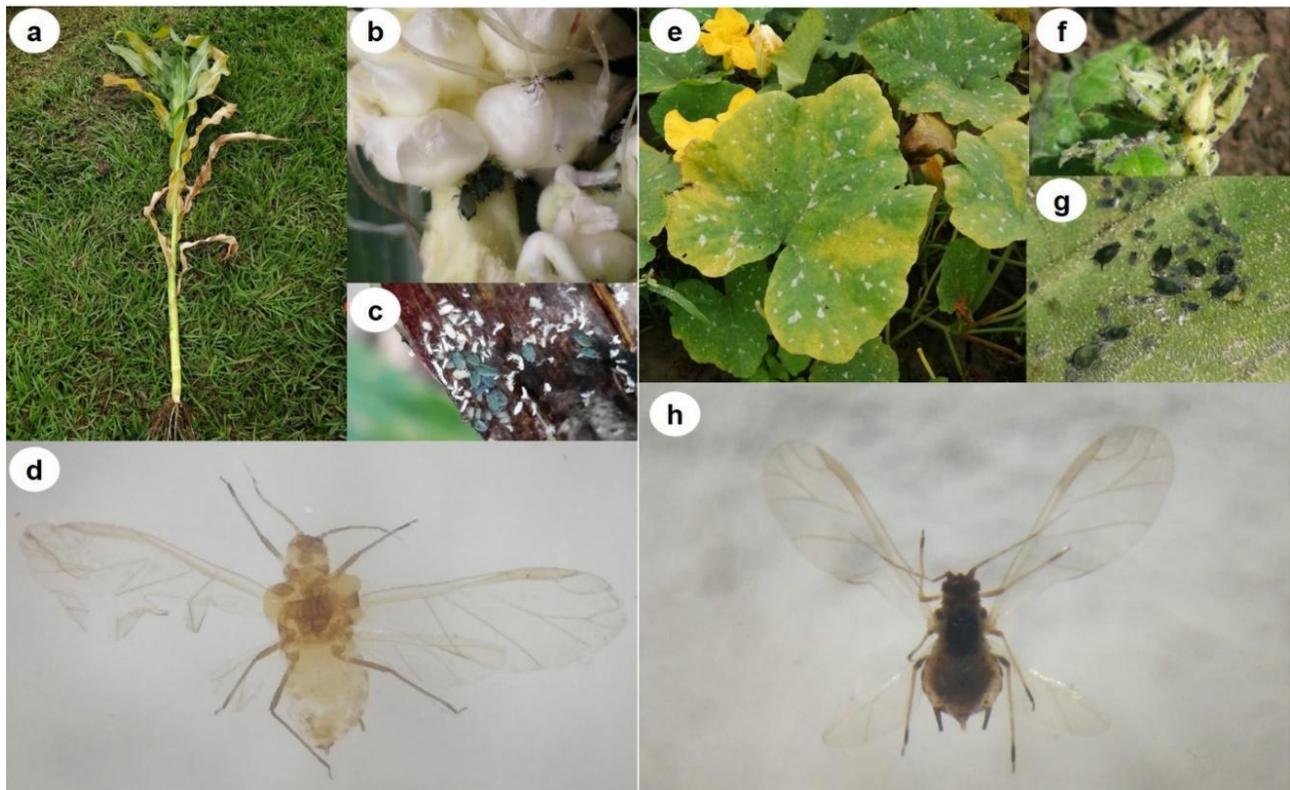


Figura 2. Adulto alado: a) *R. maidis*; b) *R. padi* y daños causados en *Z. mays* y *C. moschata*.

Conclusiones

Las especies de áfidos de *R. maidis* y *R. padi* en asociación afectaron a los cultivos de *Z. mays* y *C. argyrosperma* encontraron ambientes ideales para su desarrollo y reproducción y causar daño a ambos cultivos.



Referencias

- Bañol, C., N. Pérez, J. Piñol., J. A. Barrientos., D. Ventura. (2017). Interacción de la red áfido-parasitoide-hormiga en plantas asociadas a un cultivo ecológico de cítricos. *Ecosistemas* 25(3), 67-79. doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.09.
- Barrón-Freyre, S. M., Rodríguez, C. (2021). Sistema de producción de maíz asociado a la producción de chihua en el plan Balancán-Tenosique, Tabasco. En: XXXII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco. IX Simposio Internacional en producción Agroalimentaria Tropical. Villahermosa, Tabasco México.
- Coletta, F. H. D., Targon, M. L. P. N., Takita, M. A., Müller, G. W., Santos, F. A., Dorta, S. O., Machado, M. A. (2005). Citrus tristeza virus variant associated with citrus sudden death and its specific detection by RT-PCR. In Conference of the International Organization of Citrus Virologists, Riverside, p. 499.
- Cortez-Madrugal, H., C. F. Ortiz-García., R. Alatorre-Rosas., H. Bravo-Mojica., G. Mora-Aguilera, Aceves-Navarro. L. A. (2003). Caracterización cultural de cepas de *Lecanicillium* (= *Verticillium*) *lecanii* (Zimm.) Zare y Gams y su Patogenicidad sobre *Toxoptera aurantii* Boyer. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(2), 161-167.
- Dixon, A. F. G., Kindlmann, P., Leps, J., Holman, J. (1987). Why there are so few species of aphids, especially in the tropics. *The American Naturalist*, 129(4), 580-592. doi.org/10.1086/284659
- Holland, J. M., McHugh, N. M. Salinari, F. (2021). Field specific monitoring of cereal yellow dwarf virus aphid vectors and factors influencing their immigration within fields. *Pest Management Science*, 77(9), 4100-4108. doi.org/10.1002/ps.6435.
- Kuo, M. H., Chiu, M. C., Perng, J. J. (2006). Temperature effects on life history traits of the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera: Aphididae) on corn in Taiwan. *Applied Entomology and Zoology*, 41(1), 171-177. doi.org/10.1303/aez.2006.171.
- Matsumura, E. E., Coletta, F. H. D., Nouri, S., Falk, B. W., Nerva, L., Oliveira, T. S., Machado, M. A. (2017). Deep sequencing analysis of RNAs from citrus plants grown in a citrus sudden death-affected area reveals diverse known and putative novel viruses. *Viruses*, 9(4), 92. doi.org/10.3390/v9040092.



- Risch, S. J., Carroll, C. R. (1982). Effect of a Keystone Predaceous Ant, *Solenopsis Geminata*, on Arthropods in a Tropical Agroecosystem. *Ecology*, 63(6), 1979–1983. doi.org/10.2307/1940138.
- Rivas-Valencia, P., Mora-Aguilera, G., Téliz-Ortiz, D., Mora-Aguilera, A. (2008). Evaluación de barreras vegetales en el manejo integrado de la mancha anular del papayo (PRSV-P) en Michoacán, México. *Summa Phytopathologica*, 34(4), 307–312. doi.org/10.1590/S0100-54052008000400001
- Quiros, D. I., Emmen, D. A. (2006). Diversidad biológica de los áfidos (Hemiptera: aphididae) de Panamá. *Tecnociencia*, 8(2): 63–75. Disponible en: <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/748> (Accedido: 29 mayo 2023).
- Villalobos-González, A., García-Sandoval, J. A., Rangel-Fajardo, M. A., Tucuch-Haas, J. I. (2018). Caracteres productivos de calabaza en la península de Yucatán, México. En: XXII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal Tabasco. Villahermosa Tabasco. P. 122-125.
- Wiest, R., Salvadori, J.R., Fernandes, J. M. C., Lau, D., Pavan, W., Zanini, W.R., Toebe, J., Lazzaretti, A. T. (2021). Population growth of *Rhopalosiphum padi* under different thermal regimes: an agent-based model approach. *Agricultural and Forest Entomology*, 23(1), 59-69. doi.org/10.1111/afe.12



Investigaciones en Estadística



Cálculo de la potencia de la muestra

Bladimir Peña Parra¹, Juan José Fernando Borrayo^{1*}, Sergio Martínez González, Carlos de la Cruz Moreno¹, Socorro Salgado Moreno¹, Francisco Escalera Valente¹

¹Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, Km 3.5 Carretera Compostela – Chapalilla, Compostela, Nayarit, México CP 63700., jbladimir@uan.edu.mx, fernando.borrayo@uan.edu.mx*, sergio.martinez@uan.edu.mx

Introducción

La Potencia de la Muestra (también conocida como poder estadístico, poder de análisis o en inglés statistical power) es la probabilidad de que en un estudio de determinado tamaño de muestra se detecte como estadísticamente significativa, una diferencia que realmente existe (error tipo II $1-\beta$). Para esto se debe precisar la media que se espera encontrar y su desviación estándar poblacional. Estos datos se pueden obtener de 3 formas: 1. Estudios similares publicados en revistas, 2. Estudios piloto de 25 sujetos y 3. si no se puede lo anterior se asigna la máxima probabilidad con el que se puede representar la variable en cuestión que es en variables cuantitativas, se determina la diferencia entre el máximo y el mínimo valor esperable, se divide entre cuatro y por lo tanto, se tienen una ~~cierta~~ aproximación al valor de la desviación estándar poblacional.

El nivel de confianza deseado (Z), indica el grado de confianza que se tendrá de que el valor verdadero del parámetro en la población se encuadre en la muestra calculada, cuando mayor confianza se desee, será más elevado el número de sujetos necesarios. Este se fija en función del interés del investigador. Los valores comunes son 99, 95, 90 %. Hay que precisar que los valores que se introducen en la fórmula son del cálculo del área de la curva normal (Tablas Distribución Normal Z). Al definir las hipótesis experimentales (H_0 : hipótesis nula y H_a : hipótesis alterna o de investigación) se procederá a usar el valor Z de una cola o dos, ya que son valores diferentes como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 1. Z' en niveles de confianza.

Error	Nivel Confianza %	Valor Z	
		2 Colas	1 Cola
1	99	2.5758	2.3226
5	95	1.9599	1.6448
10	90	1.6448	1.2815

Tabla 2. Valores de Z_a y Z_b más frecuentemente utilizados

Z_a		
A	Test una Cola	Test dos colas
0.200	0.842	1.282
0.150	1.036	1.440
0.100	1.282	1.645
0.050	1.645	1.960
0.025	1.960	2.240
0.010	2.326	2.576
Potencia		
B	(1-b)	Z_b
0.01	0.99	2.326
0.05	0.95	1.645
0.10	0.90	1.282
0.15	0.85	1.036
0.20	0.80	0.842
0.25	0.75	0.674
0.30	0.70	0.524
0.35	0.65	0.385
0.40	0.60	0.253
0.45	0.55	0.126
0.50	0.50	0.000

Para determinar la utilización del Valor Z, el cual puede ser de una cola izquierda ($<$) o una una derecha ($>$) o de dos colas (\neq , $<>$), esto es observado en la definición de la hipótesis de investigación o alterna (h_a).

Nota: si se selecciona un nivel de confianza del 95% se puede afirmar que este porcentaje, es la probabilidad de que el valor verdadero de lo que se está estudiando en la población se encuentre en la muestra estudiada.

Precisión Absoluta (d) es la amplitud deseada del intervalo de confianza a ambos lados del valor real (dos colas) o a un lado del valor real (una cola) de la diferencia de las dos proporciones (en puntos porcentuales) las precisiones absolutas comúnmente utilizadas son:

%	Valor d
90	0.10
95	0.05
99	0.01

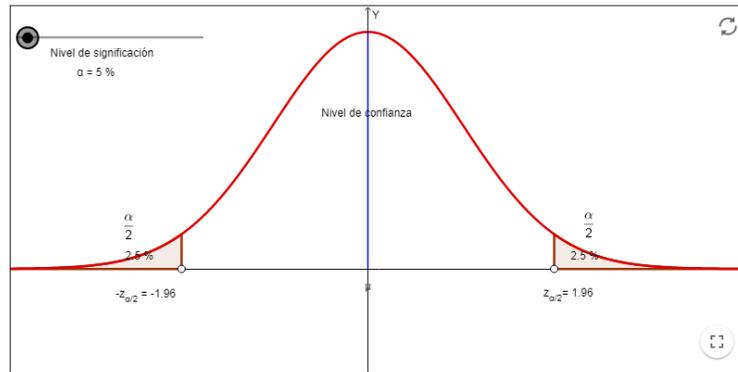


Cuando más precisión se desee más estrecho será este. Se deben de contemplar los siguientes factores a la hora de formular el poder de la muestra: hipótesis, error de tipo II o Error β así como los recursos del investigador limitados o no (número de muestras).

La expresión «dos colas» refiere a dos áreas de rechazo de la hipótesis nula formulada, una por izquierda y otra por derecha, las cuales comparten ambas la misma precisión (valor d) correspondiente seleccionada, $\alpha/2$, gráficamente presentada para mejor comprensión de las áreas, mientras más estrechas sean estas zonas más precisión tendrá al evaluar los resultados.

Estadístico para potencia de la

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$



calcular la Muestra:

Caso práctico

Se requiere obtener el poder de la muestra, de la efectividad de un fármaco nuevo para el dolor, por medio de los tiempos medios de reacción, siendo de 300 minutos en dicho medicamento, conocemos de la bibliografía que el tiempo de reacción tiene una desviación estándar 24 minutos, y un nivel de confianza del 99%, con una muestra de 64 elementos, su eficacia aumenta al menos 10 minutos, recordando que la potencia mínima necesaria es de 80%.

Formulación de la Hipótesis:

Hipótesis nula= $h_0. \mu \text{ Fármaco actual} \geq \mu \text{ fármaco nuevo}$

Hipótesis de Investigación= $h_a. \mu \text{ Fármaco actual} < \mu \text{ fármaco nuevo}$

Se determina h_a . En caso de una cola por izquierda, obteniendo un valor z de 2.326 a un nivel de confianza de 99%, utilizando nuestra Tabla 1. Z en niveles de confianza.



Sustituyendo los parámetros en la formula obtenemos:

Cálculos:

$$z = \frac{\underline{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$z = 2.3226, \underline{X} = ?, \mu = 300min, \sigma = 24min, n = 64$$

$$2.3226 = \frac{\underline{X} - 300}{\frac{24}{\sqrt{64}}}$$

$$2.3226 = \frac{\underline{X} - 300}{3}$$

$$2.3226 * 3 = \underline{X} - 300$$

$$6.9678 = \underline{X} - 300$$

$$\underline{X} = 300 + 6.9678$$

$$\underline{X} = 306.9678$$

$$\underline{X} = 307$$

$$z\beta = \frac{\underline{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$z\beta = \frac{307 - 310}{\frac{24}{\sqrt{64}}}$$

$$z\beta = \frac{-3}{3} = -1$$

Se busca $z\beta$ en tablas de z para obtener el valor de probabilidad; para ubicar el valor de probabilidad correspondiente a $z\beta = -1$ se busca en el margen izquierdo de las tablas el valor entero, su décima y la centésima en las columnas de la parte superior, generando en esta intersección de renglón una columna con el resultado de probabilidad. Para este caso busca -1 en el margen izquierdo y 0 en las columnas, dando como resultado en la intersección el valor de **0.1587**, podemos comprobar el resultado en la Tabla 3.



Tabla 3. Valores de probabilidad acumulada para la Distribución Normal Estándar.

z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3	0.0013	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3	0.9987	0.9990	0.9993	0.9995	0.9997	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	1.0000

1. Si una variable normal X no es estándar, entonces sus valores deben ser estandarizados mediante la transformación: $Z=(X-\mu) / \sigma$ es decir, $P(X<x)=\Phi [x (-\mu) / \sigma]$.
2. Para valores de $z<4$, $\Phi [z]=1$, a una precisión de cuatro decimales; para valores de $z<-4$, $\Phi [z]=0$ con cuatro decimales significativos.
3. Aquellos valores al lado del valor de 3 corresponden a las probabilidades acumuladas de z igual a 3.0, 3.1, 3.82, etc. para un valor $Z\beta= -1$ se obtiene una probabilidad acumulada de 0.1587



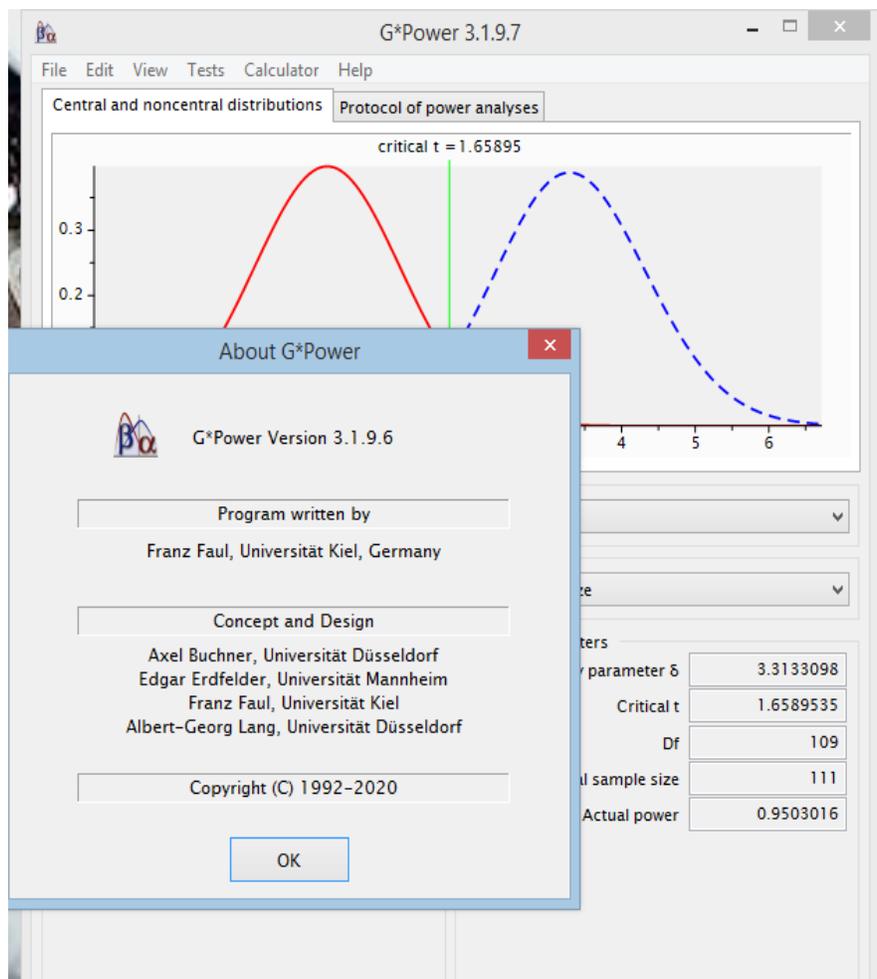
$$\text{Probabilidad} - 1 = 0.1587$$

$$\text{Poder} = 1 - \beta \rightarrow 1 - 0.1587 = \mathbf{0.8413}$$

Finalmente, con una muestra de 64 elementos se obtiene una potencia de **0.8413** que indica un 84.13% de posibilidades de encontrar a un nivel de confianza del 99% una diferencia estadística significativa. Si se desea ampliar más la potencia se tendría que aumentar el tamaño de la muestra según las necesidades. Generalmente un valor de potencia de 0.80 es aceptable y se puede usar como punto de referencia. Los investigadores suelen diseñar sus experimentos de tal manera de que sus resultados sean significativos el 80% de las veces.

Existen softwares, que realizan estos cálculos como GPower, Pass y AnalyStat entre otros, a continuación, algunas imágenes de estos y plataforma en la que operan:

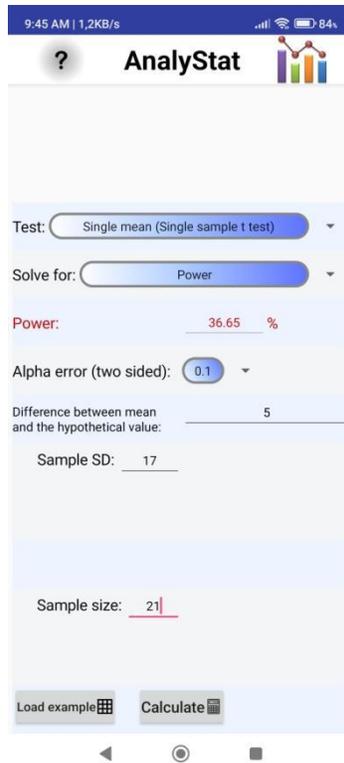
GPower software para PC





AnalyStat software para dispositivo móvil sistema operativo android





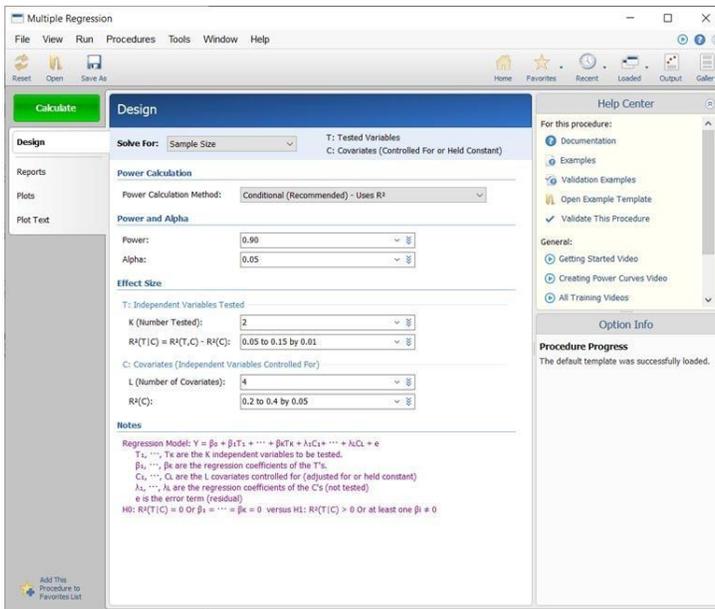
Software Pass Windows



PASS

Sample Size







Ready-to-Use Output

Save or print your output file, or copy and paste a portion or all of your results into another document from the menus

Report definitions, summary statements, and references help with interpretation of the sample size results

Copy and paste plots to your document or presentation; or you can double click a plot to view it in a sizeable window.

From the Plot Viewer, you can print the plot, or save the plot in a variety of formats.

Send your results to the Output Gallery to keep track of a series of runs

The Navigation Pane lets you quickly jump to any section of the output

Output Gallery

Various viewing options let you style the output in a format that is best for you

The screenshot displays the PASS software interface. The main window shows statistical results for a 'Two-Sample T-Test Assuming Equal Variances'. Below the results is a 'Chart Section' with a plot of 'N1 vs d'. To the right is the 'Output Gallery' which contains a smaller version of the plot. An orange arrow points from the main plot to a 'Plot Viewer' window, which shows the plot in a larger, zoomed-in view. Blue arrows point to various parts of the interface, including the 'Navigation Pane' on the left and the 'Output Gallery' on the right.

Conclusiones

Si bien, existen infinidad de herramientas en software para poder determinar la potencia y tamaño de la muestra adecuadas a nuestras investigaciones, es necesario utilizar el que nos permita obtener los resultados esperados y proyectados en el desarrollo de dicha investigación, también debemos trabajar en el desarrollo de la habilidad de poder calcular manualmente esta característica, permitiendo de esta manera comprender y dar respuesta en la actualidad a la pregunta que se formula constantemente por parte de revisores, lectores y dedicados a estas actividades de investigación: ¿cómo fue que se determinó que esa muestra es la adecuada para el desarrollo de la investigación? Respondiendo de manera firme y confiable: ¡por medio de la potencia de la muestra!

Referencias

- Alvarenga, J. C. L., Bernal, A. R., Navarro, M. P. y Cossio, S. S. (2010). Cómo se puede estimar el tamaño de la muestra de un estudio. *Dermatología Revista Mexicana*, 54(6), 375-379. ISSN: 0185-4038
- Box, G. E., Hunter, J. S. y Hunter, W. G. (2008). *Estadística para investigadores diseño innovación y descubrimiento*. 2ª ed. Editorial Reverté. ISBN: 978-84-291-5044-5
- Cobo, E., Muñoz P. y González J. A. (2007). *Bioestadística para no Estadísticos*. Elsevier.



<https://www.sciencedirect.com/book/9788445817827/bioestadistica-para-no-estadisticos#book-info>

Dawson-Saunders, B. y Trapp, R. G. (1996). *Bioestadística Médica*. Editorial el Manual Moderno. ISBN: 9707291346

Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Morgenstern, H. (1982). *Epidemiologic research. principles and quantitative methods*. Lifetime Learning Publications. ISBN 0534979505, 9780534979508

Martín Andrés, A., Luna del Castillo, J.D. (2004). *Bioestadística para las ciencias de la salud*. 4ª ed. Norma-Capitel. ISBN: 978-84-8451-018-5

Milton, J.S., Tsokos, J.O. (2001). *Estadística para biología y ciencias de la salud*. Interamericana Mc-Graw Hill. <https://matematicas.unex.es/~jmf/Archivos/Manual%20de%20Bioestad%C3%ADstica.pdf>

Montanero, F. J., Minuesa, C. A. (2018). *Estadística básica para ciencias de la salud*. Universidad de Extremadura.

Pérttega-Díaz, S., Pita-Fernández, S. (2002). Cálculo del tamaño muestral en estudios de casos y controles. *Cad Aten Primaria en la Red*.

Pérttega-Díaz, S., Pita-Fernández, S. (2002). Cálculo del tamaño muestral para la determinación de factores pronósticos. *Cad Aten Primaria en la Red*.

Thomas, L., Krebs, C.J. (1997). A review of Statistical power analysis software. *Bulletin of the Ecological Society of América*, 78(2), 128-139.



Métodos estadísticos y su aplicación en las investigaciones científicas

Magaly Herrera Villafranca^{1*}, Yolaine Medina Mesa¹, Mildrey Torres Martínez ¹, Yaneily GarcíaÁvila¹,
Saraí Gómez Camacho¹

¹Instituto de Ciencia Animal, Carretera Central, km. 47 ½. San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba. CP: 32 700. magalyherreravillafranca66@gmil.com*, yolainemedina91@gamil.com, mildretm91@gmail.com, yaneily@nauta.cu, sgomez@ica.edu.cu

Introducción

La Estadística es una de las ramas de la Matemática de mayor universalidad, ya que en su devenir histórico muchos de sus métodos se han desarrollado para resolver situaciones específicas en diferentes esferas del conocimiento y la ciencia. Son diversos los métodos estadísticos que se emplean para dar respuesta a los estudios de investigación; sin embargo, se necesita conocer cuál o cuáles métodos se deben emplear para el análisis de los datos. La estadística ha tenido un desarrollo importante en el tiempo, en consecuencia, las aplicaciones de las distintas técnicas se han incrementado en las diversas investigaciones; sin embargo, existe un uso y abuso de éstas, y en tal sentido se emplean de manera inadecuada, lo que provoca sesgos en las estimaciones a la hora de interpretar los resultados. El uso de la estadística en las investigaciones científicas resulta una herramienta importante en el análisis de datos para obtener conclusiones precisas y certeras de cada estudio en particular. Su empleo adecuado dependerá de cómo se seleccione el método o los métodos para cumplir con los objetivos propuestos. En el presente trabajo se reseñarán los Métodos estadísticos de mayor aplicación en las investigaciones científicas

Diseño experimental

El diseño de experimento es una etapa de planeación detallada donde los investigadores necesitan tener en cuenta diferentes elementos estadísticos para llegar a los resultados correctos. Para el diseño y análisis de un experimento se debe conocer claramente el problema objeto de estudio, poseer un amplio conocimiento del material experimental a usar, así como, conocer las posibilidades existentes para la selección de los datos. Además, de direccionar e interpretar adecuadamente los resultados que se obtienen. Estos se asocian a diferentes modelos de análisis de varianza, por lo que resulta importante seleccionar el más adecuado, a partir de tener en cuenta las diferentes fuentes de variación incorporadas durante el desarrollo de la investigación.

Análisis de varianza clásico

El análisis de varianza paramétrico (ANOVA) es un procedimiento que permite descomponer la variabilidad de la variable dependiente en dos o más efectos, cada uno de los cuales se puede atribuir a una fuente identificable. El ANOVA se utiliza para decidir



si las diferencias detectadas en los datos, para la variable dependiente, se pueden atribuir con el margen de error correspondiente al nivel de significación (α) o error tipo. En la mayoría de los análisis paramétricos se requiere del cumplimiento del supuesto de normalidad, homogeneidad de varianza, independencia de los errores y aditividad de los efectos, su comprobación es necesaria para sustentar la validez del análisis. La verificación de los supuestos se realiza en la práctica a través de los términos de error aleatorio que son los residuos aleatorios asociados a cada observación. El incumplimiento de alguno de estos supuestos lleva a conclusiones erróneas, lo que trae consigo resultados falsos en los experimentos que al replicarse en los sistemas de producción ocasionan pérdidas económicas debido a errores en el proceso de toma de decisiones.

Supuestos teóricos del análisis de varianza paramétrico

El análisis de varianza paramétrico es el método estadístico más difundido en el análisis de datos, desarrollado por Fisher en la década de los años 20 del pasado siglo. Para su empleo es necesario el cumplimiento de algunas premisas como es el caso de la normalidad de los residuos y la homogeneidad de la varianza. La falta de normalidad es un problema que afecta especialmente la estimación de la varianza del modelo y no se obtienen intervalos de confianza precisos del error experimental. Entre las dójimas (pruebas) con mayor aplicación se encuentran la de Shapiro-Wilks y Kolmogorov-Smirnov. En cuanto a la homogeneidad de varianzas este supuesto se relaciona con los residuos de los tratamientos, y ofrece una visión general de la posible igualdad entre ellos. Las pruebas más empleadas para su análisis son las de Levene, Bartlett, Hartley, entre otras. Dichos autores señalan que la de Levene es más robusta ante la falta de normalidad. En este sentido, cuando se incumplen algunos de estos supuestos se proponen otros métodos estadísticos que sirven como alternativas de análisis para lograr mejores estimaciones en los resultados.

Alternativas estadísticas ante el incumplimiento de los supuestos teóricos

Transformaciones de datos

Se ha señalado que cuando no se cumplen los supuestos de normalidad u homogeneidad de varianzas una de las opciones que han realizado diferentes investigadores es aplicar transformaciones, donde el objetivo es cambiar la métrica de la variable original por una medida en otra escala. Existen diferentes transformaciones que se emplean con este fin entre estas se encuentran: la raíz cuadrada, el logaritmo natural, las angulares, Box Cox, entre otras. Las transformaciones de datos se utilizan con frecuencia en el Análisis de Varianza, siendo una alternativa, siempre que sean bien empleadas, pues en diferentes estudios se ha detectado un uso innecesario de las mismas sin que se tenga en cuenta



el cumplimiento de los supuestos teóricos, antes y después de aplicadas, en este último análisis estos no se verifican.

Análisis de varianza no paramétrico

Los Métodos estadísticos no paramétricos presentaron un desarrollo acelerado en la década de los años 50 en las ciencias de la conducta, sociales y médicas, no así en las ciencias agrícolas. Sin embargo, en muchas ocasiones los investigadores desconocen que pueden ser una alternativa muy importante ante el incumplimiento de los supuestos teóricos del ANOVA clásico y cuando los tamaños de muestras son pequeños.

Las pruebas no paramétricas se basan en un modelo que especifica sólo condiciones muy generales y ninguna acerca de la forma de la distribución de los datos de donde se obtiene la muestra. Ciertos supuestos se asocian con la mayoría de las pruebas no paramétricas, como es el caso de: que las observaciones son independientes y quizás que la variable en estudio sea continua; sin embargo, estos supuestos son menores y más débiles comparados con las pruebas paramétricas.

ANOVA no paramétrico Kruskal-Wallis

Esta prueba estadística, al igual que el análisis de varianza de una vía, permite realizar pruebas post-hoc (la prueba de Dunn) cuando se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias en los grupos considerados. Además, generalmente no son demasiado sensibles a suposiciones iniciales y pueden utilizarse para datos ordinales y cualitativos, así como para grupos muy pequeños de datos continuos, para los que las pruebas de normalidad no resultan concluyentes.

ANOVA no paramétrico de Friedman

Esta prueba es una extensión de la prueba de Wilcoxon para incluir datos registrados en más de dos periodos de tiempo o grupos de tres o más sujetos pareados, con un sujeto de cada grupo que ha sido asignado aleatoriamente a una de las tres o más condiciones. Además, examina los rangos de los datos generados en cada periodo de tiempo para determinar si las variables comparten la misma distribución continua de su origen.

El empleo de estas alternativas de análisis se ha utilizado para resolver inconvenientes del ANOVA clásico; sin embargo, existen otros métodos estadísticos para variables que incumplen los supuestos teóricos, para datos desbalanceados y los cuales se ajustan a una matriz de varianza covarianza. Cabe señalar que al igual que los métodos clásicos para su empleo se deben cumplir algunas suposiciones.



Análisis de varianza unifactorial con medida repetida en el tiempo

El análisis de varianza (ANOVA) univariado es el más usado en el análisis de los diseños de medidas repetidas, asumiendo que el factor intrasujeto es fijo y los sujetos aleatorios. Éste requiere satisfacer los supuestos de normalidad, independencia y esfericidad. El primero requiere que las observaciones de cada unidad de análisis sean extraídas de una población con distribución normal multivariada, el segundo supone la independencia entre las observaciones correspondientes a los distintos sujetos y el tercero implica la igualdad de varianzas de las diferencias entre los tratamientos; es decir, la matriz de covarianzas debe tener igual varianza de diferencia entre todos los pares de puntuaciones.

Los procedimientos clásicos, como el análisis de varianza univariado (ANOVA) y el análisis de varianza multivariado (MANOVA), evitan el problema de la correlación y no lo afrontan de forma directa. Cuando no se toma en consideración la estructura de la covarianza entre las medidas repetidas se corre el riesgo de obtener conclusiones incorrectas de los análisis estadísticos. Se ha informado que al efectuar mediciones repetidas en la misma unidad experimental implica que no es posible aleatorizar el factor tiempo; por lo tanto, los datos resultantes guardan estrecha relación y se presume que estén autocorrelacionados, en consecuencia, se viola el supuesto de independencia de errores.

Supuestos estadísticos para el análisis de varianza con medidas repetidas

Prueba de correlación de Pearson

Las mediciones sobre la misma unidad experimental tienden a estar relacionadas. Aquellas mediciones adyacentes en tiempo se encuentran altamente correlacionadas con respecto a las mediciones en tiempos distanciados. Además, las varianzas también cambian en el tiempo, por lo que, para un conjunto de datos con estas características, un modelo estadístico clásico no es recomendable debido a que se estarían violando los supuestos de independencia e igualdad de varianzas de los errores aleatorios y por consiguiente las estimaciones de los parámetros obtenidas a partir de este no son válidas.

Prueba de Esfericidad de Mauchly

En las ciencias agropecuarias se ha identificado que la prueba de Mauchly es la más utilizada en este tipo de análisis, no así la de Bartlett. Se plantea que cuando se realizan experimentos en el que se mide sobre la misma unidad experimental es más conveniente la prueba de Mauchly. Sin embargo, una de las limitaciones que presenta la estimación de esta prueba es que cuando la cantidad de variable es mayor que el número de individuos la prueba es inconsistente y por ende no se logra una estimación adecuada.



Tanto la prueba de esfericidad de Bartlett como la de Mauchly son importantes para el análisis de los supuestos de los modelos con medidas repetidas sobre la misma unidad experimental. La primera parte de la hipótesis nula de que la matriz de coeficientes de correlación es una matriz identidad y evalúa si existe correlación entre los tiempos de muestreo, la segunda, se utiliza para comprobar la probabilidad de ocurrencia del error de tipo I y para su control se ajustan los grados de libertad mediante el ϵ de Huynh-Feldt por ser menos conservadora que su homóloga Greenhouse-Geisser.

Prueba de Huynh-Feldt

Se han propuesto estrategias secuenciales, la cual para un diseño de medidas repetidas unifactorial se aplicará teniendo en cuenta varios criterios, si el estadístico F del ANOVA es no significativo, se detiene el análisis, ya que cualquier procedimiento de ajuste de los grados de libertad llevaría al mismo resultado. Si dicho estadístico es significativo se comienza el ajuste a partir del límite inferior de ϵ , si con este ajuste resulta significativo se detiene el proceso y se rechaza la hipótesis nula, cualquier otro ajuste conduciría al mismo resultado. Y por último si F es significativo sin ajustar, pero no lo es con el ajuste a partir del límite inferior, entonces se debería proceder a la estimación de ϵ por algún otro procedimiento. Para eliminar todos estos inconvenientes se desarrollaron los Modelos Lineales Generalizados.

Modelo lineal generalizado

Este tipo de método fue propuesto por Nelder y Wedderburn en 1972 donde agruparon diferentes modelos estadísticos, los que dieron a conocer como lineales generalizados (MLGnz), que constituyen una extensión de los lineales generales clásicos (MLG), dicha propuesta es aplicable a diferentes distribuciones de datos como la Normal, Poisson, Binomial, entre otras. Varios autores plantean que un MLGnz está definido por dos componentes específicos. La respuesta debe ser un miembro de la distribución de la familia exponencial y la función de enlace describe de qué forma se relacionan la media de la respuesta y una combinación lineal de los predictores. La distribución de Y de la familia exponencial es de la forma:

$$F(y|\theta;\phi) = \exp \left[\frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right]$$

Donde:

θ : se conoce como el parámetro canónico y representa la localización

ϕ : es el parámetro de dispersión o de la escala

a, b y c son funciones conocidas



Modelos mixtos

Los modelos mixtos son una propuesta de modelación estadística avanzada, que permiten mejorar la calidad del análisis de los factores fijos y aleatorios, al modelar la variabilidad aleatoria y la correlación de los errores. Son muy útiles en el análisis de datos desbalanceados o con algún tipo de estructura jerárquica. Por tanto, permiten estimar la variabilidad entre grupos y la de los efectos anidados dentro de grupos.

Modelos lineal generalizados mixtos

En la época actual, existe la necesidad de poseer sólidos conocimientos en el uso de las herramientas estadísticas como es el Modelo Lineal Generalizado Mixto, pues posibilita estudiar datos correlacionados y no requiere del cumplimiento de los supuestos teóricos de los modelos clásicos. Algunos autores informan que estos modelos resultan una alternativa eficiente en el análisis de las investigaciones científicas.

El procedimiento estadístico con modelos mixtos permite analizar de manera correcta y eficiente los datos de experimentos con medidas repetidas, a través del modelaje de la estructura de la matriz de varianzas - covarianzas que consideren las correlaciones entre medidas repetidas y la presencia de varianzas heterogéneas para realizar inferencias más precisas.

Estructuras de varianza-covarianza

La estructura de covarianza representa las varianzas a partir de tiempos individuales y la correlación entre medidas en diferentes tiempos sobre la misma unidad experimental. En cualquier análisis estadístico factorial se controla la variabilidad entre tratamientos y dentro de tratamientos (error aleatorio), sin tomar en consideración la covarianza entre mediciones dentro de la misma unidad experimental. En este sentido la estructura de la matriz de covarianza más adecuada se selecciona previamente mediante los criterios estadísticos como el Akaike (AIC) y el Bayesiano (BIC).

Criterios estadísticos de información para la selección de modelos con medidas repetidas

Usar la metodología del modelo mixto en el contexto longitudinal, implica tener que elegir modelos alternativos para explicar la variabilidad observada en los datos del modo más sencillo posible. Aunque no existe unanimidad acerca de cuál es la mejor forma de seleccionar el modelo óptimo, herramientas tales como los criterios de información y la prueba de razón de verosimilitud se usan con frecuencia. Entre los criterios con mayor aplicación se destacan información Akaike (AIC), Acaike Corregido (AICC) y Bayesiano de Schwarz (BIC).



Criterio de información akaike

Este criterio fue desarrollado por Akaike en 1980 como una alternativa para comparar modelos, y el cual lo definió como Criterio de Información de Akaike. Este método permite determinar con qué eficiencia los modelos se ajustan a los datos y lo definen como:

$$AIC = -2 (\ln \text{verosimilitud} - k)$$

Donde:

ln: logarítmico neperiano.

k: número de parámetros

Criterio de información akaike corregido

Se plantea que el criterio de AIC resulta inestable cuando el tamaño de la muestra es relativamente pequeño; es decir, cuando este tiene menor cantidad de observaciones. En este sentido, algunos autores realizaron una corrección de segundo orden del término para incrementar la influencia del número de puntos experimentales en el criterio, con el objetivo de resolver esta deficiencia, su fórmula es la siguiente:

Donde:

AIC: Criterio de información Akaike

N: Tamaño de muestra

k: número de parámetros

Criterio de información bayesiano de Schwarz

La estadística bayesiana surge precisamente del teorema de Bayes. Este permite, en caso de conocer la probabilidad de que ocurra un suceso, modificar su valor cuando se dispone de nueva información. Los métodos bayesianos constituyen una alternativa a la estadística tradicional, que se basa en el contraste de hipótesis, su expresión es la siguiente:

$$BIC = G - gl * \ln N$$

Donde:

G= cociente de verosimilitud

gl= grados de libertad

N= tamaño de la muestra

Todos estos criterios se utilizan para seleccionar la estructura de varianza covarianza de mejor ajuste a los datos. Para realizar un análisis sobre el tipo de métodos estadísticos en la actividad de investigación se muestra un estudio de caso.



Estudio de caso

En las investigaciones científicas resulta importante la selección adecuada del método estadístico de mejor estimación, donde los estadísticos de variabilidad que se obtengan presenten los menores resultados y den una respuesta correcta.

Procedimiento experimental. Se tomaron los resultados de un experimento desarrollado por el departamento de ruminantes del Instituto de Ciencia Animal, relacionado con la medición de la producción de gas *in vitro* de diferentes tratamientos, un control, dos dietas experimentales con empleo de levaduras, con crema e hidrolizadas. El estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de estos en la producción animal. Las mediciones se realizaron sobre la misma unidad experimental en diferentes horarios: 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24 con cinco repeticiones en cada uno.

La eficiencia de los métodos estadísticos se realizará a partir de diferentes tipos de análisis. En primer lugar, se evaluará los supuestos teóricos del ANOVA, homogeneidad de varianza por la prueba de Levene, y normalidad de los residuos por Shapiro-Wilk. Se calculará la correlación de Pearson para conocer si existe asociación importante entre los horarios de muestreos. También se analizará el supuesto de esfericidad teniendo en cuenta el estadístico de Mauchly en el caso de que se demuestre su incumplimiento se ajustarán los grados de libertad mediante el ϵ .

Al evaluar los supuestos teóricos del ANOVA clásico Tabla 1, se observó el incumplimiento de ambos supuestos. En cuanto al de la homogeneidad de varianza se informa que, en la medida que se incrementa el tiempo mayor es la varianza, por ende, no hay homogeneidad.

Tabla 1. Supuestos teóricos del ANOVA clásico.

Supuestos	Décimas	Homogeneidad de varianza Levene (p)	Normalidad de los errores Shapiro-Wilk (p)
PG		0,0305	0,0037

La Tabla 2 muestra valores de correlación superiores a 0,6, esto indica que en la medida que aumentaron los horarios de muestreos, estos se encontraron por encima del 0,8. Cuando la variable dependiente se mide repetidamente en diferentes momentos de tiempo puede suceder que las correlaciones entre los pares de puntuaciones cercanas en el tiempo sean mayores que entre las lejanas, disminuyendo según las medidas se alejen en la serie.



Al analizar el estadístico de Mauchly (Tabla 3) se observó que el valor de probabilidad fue inferior a 0.05 lo que evidencia que la matriz de varianzas covarianzas no es esférica, por lo que fue necesario realizar la corrección de los grados de libertad mediante el ϵ , los resultados mostraron que sus valores se alejaron de 1, por lo que corrobora el incumplimiento de dicho supuesto (Tabla 4).

Tabla 2. Análisis de la correlación de Pearson.

Horarios	3	6	9	12	16	20	24
3	1						
6	0,75	1					
9	0,85	0,95	1				
12	0,62	0,84	0,83	1			
16	0,76	0,79	0,86	0,95	1		
20	0,68	0,82	0,85	0,96	0,98	1	
24	0,77	0,78	0,85	0,88	0,97	0,97	1

En esta misma tabla se evidenció que el ajuste de los grados de libertad muestra que la variabilidad atribuida por los horarios, como al término de error y que estos aportaron de manera significativa a la variable producción de gas.

Tabla 3. Prueba de Mauchly para la variable producción de gas *in vitro*.

Efecto inter sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
Horas	,000	92,350	20	,000	,376	,453	,167

Al incumplirse los supuestos teóricos del ANOVA, es incorrecto realizar un análisis de varianzas clásico por lo que se debe realizar un modelo estadístico donde se logren mejores estimaciones y donde los errores estándar sean más pequeños. En este sentido, lo más conveniente es aplicar un Modelo Lineal Generalizado Mixto. El análisis se realizó teniendo en cuenta el procedimiento propuesto.

Se utilizó el programa Proc GLIMMIX del SAS, se consideró como efectos fijos: tratamiento, hora y la interacción tratamiento por hora y como efecto aleatorio el intercepto y se anidó repetición dentro de tratamiento. Sin embargo, se debe conocer la función de enlace de mejor ajuste a la variable producción de gas *in vitro*, para lo cual es necesario probar las estructuras de varianzas y covarianzas Toeplitz (Toep), componente de varianzas (CV), simetría compuesta (CS), autorregresiva de orden 1 (AR [1]) y no estructurada (UN). Para seleccionar el modelo con la matriz de covarianzas de mejor



ajuste, se utilizaron los criterios de información [Akaike (AIC), Akaike corregido (AICC), Bayesiano (BIC)] y se consideró el valor más pequeño. En este análisis se observó que dicha variable se ajustó a la estructura de covarianza Toep. Además, se comprobó la distribución de los datos y la de mejor ajuste fue la Gamma con función de enlace (log).

Tabla 4. Ajuste de los grados de libertad para la variable producción de gas *in vitro*.

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Horas	Esfericidad asumida	417392,945	6	69565,49	498,40	,000
	Greenhouse- Geisser	417392,95	2,26	184781,04	498,40	,000
	Huynh-Feldt	417392,95	2,72	153709,10	498,40	,000
	Límite inferior	417392,95	1,00	417392,95	498,40	,000
Error(Horas)	Esfericidad asumida	11724,49	84	139,58		
	Greenhouse- Geisser	11724,49	31,62	370,75		
	Huynh-Feldt	11724,49	38,02	308,40		
	Límite inferior	11724,4	14,00	837,46		

Los criterios de información que se evaluaron (Tabla 6) evidenciaron los valores más pequeños con las estructuras Toep, UN y CV; sin embargo, se seleccionó la Toep se plantean que las observaciones registradas desde un mismo sujeto, además de estar gradual y positivamente correlacionadas, presentan una matriz de varianzas-covarianzas entre las medidas repetidas que tiene una estructura Toeplitz, lo que indica que las puntuaciones más próximas presentan una correlación más elevada.

Tabla 5. Criterios de bondad de ajuste para las estructuras de varianza covarianza.

Estructuras	Criterios de información			
	Verosimilitu	AIC	AICC	BIC
	d -2 log			
Toep	851,12	897,12	910,75	913,40
UN	851,12	897,12	910,75	913,40
CV	851,12	897,12	910,75	913,40
CS	851,12	899,12	914,12	916,11
Ar(1)	851,12	899,12	914,12	916,11

**Tabla 6. Criterios de bondad de ajuste para las estructuras de varianza covarianza.**

Estructuras	Criterios de información			
	Verosimilitu	AIC	AICC	BIC
	d -2 log			
Toep	851,12	897,12	910,75	913,40
UN	851,12	897,12	910,75	913,40
CV	851,12	897,12	910,75	913,40
CS	851,12	899,12	914,12	916,11
Ar(1)	851,12	899,12	914,12	916,11

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la interacción del tratamiento por horario, esta fue no significativa, por lo que se reportan los efectos principales, cuyos valores de probabilidad fueron menores que 0.05. En el análisis se observó que en los tratamientos donde se empleó la levadura en crema e hidrolizada, tuvieron un comportamiento similar y fueron las que expresaron mayor producción de gas *in vitro* con respecto al control (Tabla 8).

Tabla 7. Resultados de la tabla de Análisis de Varianza del Modelo Lineal Generalizado Mixto.

Effect	Numerador (gl)	Denominador (gl)	Valor F	Valor p
tto	2	12	20,17	0,0001
hora	6	72	527,59	<, 0001
tto*hor a	12	72	1,02	0,4398

Tabla 8. Resultados de las medias de tratamientos para la variable producción de gas *in vitro*.

Variable	Ttos Control	Crema de Levadura	Hidrolizado Levadura	EE(±) Signif.
PG	4,61 ^b (100,42)	4,87 ^a (130,35)	5,00 ^a (148,79)	0,06 p<0,0001

() Media transformada según la función de enlace log.

En el análisis se observó diferencias significativas entre los horarios de muestreo $p < 0,0001$. Se apreció un incremento de la producción de gas *in vitro*, la mayor se alcanzó a las 24 h y la menor fue al inicio de la fermentación.

**Tabla 9. Resultados de la producción gas *in vitro*, según los horarios de muestreos.**

Horas Variable	3	6	9	12	16	20	24	EE(±) Signif.
PG	3,84 ^g (46,59)	4,37 ^f (78,98)	4,64 ^e (103,23)	5,01 ^d (149,60)	5,16 ^c (173,68)	5,33 ^b (205,54)	5,45 ^a (231,83)	0,04 p<0,0001

() Media transformada según la función de enlace log.

Conclusiones

Existen diversos métodos estadísticos para el análisis de las investigaciones científicas. Sin embargo, hay estudios donde los datos no cumplen con los supuestos requeridos para un análisis clásico, por lo que se hace necesario del empleo de otras alternativas estadísticas que resultan eficaz para lograr resultados más precisos y con mejores estimaciones.

Referencias

- Babinec, F.J. (2012). Métodos estadísticos en genética básica y aplicada: por qué cómo y cuánto. *Journal of Basic & Applied Genetics*, 23(2), 8-18.
<http://www.scielo.org.ar/pdf/bag/v23n2/v23n2a02.pdf>
- Barrios, R., Sila, R. (2019). Pertinencia de uso del análisis estadístico de medida repetida en la investigación agrícola. *Agronomía Tropical*, 69, 9-17.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5523598>
- Barrios, Y. D., Guerrero, Z. E., Zambrano, D. F., Ponce, H. X. (2022). Statistical analysis when the assumptions of parametric tests are not met, in the context of physical culture research: *Revista universidad y sociedad*, 14(S1), 591-600. ISSN: 2218-3620
- Berlanga, V., Rubio, M. J. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. REIRE. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5(2), 101-113 <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2528>
- Buzan, B., Lawson, G. (2015). The global transformation. history, modernity and the making of international relations. Cambridge: Cambridge University Press: *Estudios sociales contemporáneos*, 14, 156-158. <https://bdigital.uncu.edu.ar/8610>
- Dicovski, L. M., Pedroza, M. E. (2017). General and mixed linear models in the characterization of the qualification variable, agroindustrial engineering, uni-north. *Nexo Revista Científica*, 30(2), 84-95. ISSN: 1995-9516



- Gómez, S., Torres, V., García, Y., Herrera, M., Medina, Y., Rodríguez, R. (2019). Statistical procedure for the analysis of experiments with repeated measures over time in the agricultural and livestock field. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(4), 1-8. ISSN 0864-0408 versión On-line ISSN 2079-3480
- Greenhouse S, Geisser S. 1959. On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 32(3), 95-112. <https://doi.org/10.1007/BF02289823>
- Gutiérrez, H. V. R. (2012). Análisis y diseño de experimentos. 3rd Ed. Ed. Mc Graw-Hill Latinoamericana Editores S.A de C.V, México D.F., México. ISBN: 978-607-15-0725-9
- Hernández, J., García, X., García, J. J., Muñoz, H. J., Velarde, J. C., Olvera, E. H. (2016). Factores de proporción y ecuaciones de diámetro normal a partir del tocón para *Pinus greggii* Engelm. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(35), 7-18. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v7n35/2007-1132-remcf-7-35-00007-en.pdf>
- Herrera, M., Medina, Y., Guerra, W., Sarduy, L., García Hernández, Y., Torres, V., Fraga, L. (2017). Comparison of mixed and fixed effects in the analysis of a split plot design in an experiment with Guinea Mombaza (*Megathyrus maximus* cv. Mombaza). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(3), 285-291. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=653768173008>
- Hurvish, C. M., Tsai, C. L. (1989). Regression and time series model selection in small samples, *Biometrika*, 76, 297-307. <https://www.stat.berkeley.edu/~binyu/summer08/Hurvich.AICc.pdf>
- Huyhn, H., Feldt, L. S. (1970). Conditions under which mean square ratios in repeated measures designs have exact F-distributions. *Journal of the American Statistical Association*. 65, 182-189. doi:10.1080/01621459.1970.10481187
- Jaccard, J., Ackerman, L. (1985). Repeated measures analysis of means in clinical research. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 53, 426-428. doi.org/10.1037/0022-006X.53.3.426
- Melo, O., López, L. A., Melo, S. E. (2020). Diseño de Experimentos: métodos y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia.



Investigaciones Veterinarias



Efecto del ácido acetilsalicílico en vacas frescas de doble propósito en condiciones tropicales

Miguel Ángel Lammoglia Villagómez¹, Jorge Luis Chagoya Fuentes^{1*}, Daniel Sokani Sánchez Montes¹,
Amalia Cabrera Núñez¹, Javier Cruz Huerta Peña¹, Edelmira Jácome-Sosa¹

¹Universidad Veracruzana, Carretera Tuxpan-Tampico km 7.5, Tuxpan, Veracruz, México. C.P. 92800.
mlammoglia@uv.mx, jochagoya@uv.mx*, danisanchez@uv.mx, amacabrera@uv.mx, jhuerta@uv.mx,
edjacome@uv.mx

Introducción

En México, el consumo de leche supera su producción y esta tendencia seguirá en el futuro. Además, es relevante indicar que alrededor del 30% del producto nacional es aportado por pequeños productores bajo diversos sistemas de producción (semi-tecnificado, lechería familiar, doble propósito, entre otros), contabilizando un aproximado de 1,470,000 cabezas, distribuidas en más de 100 mil unidades productivas. Para los productores de leche, el objetivo principal es lograr la mayor producción al menor costo posible, debido a lo anterior deben tener el mejor control de los factores que pueden influenciar en lograr su meta, los cuales van desde el potencial genético, alimentación, confort, estado de salud, hasta los cuidados que deben tener los bovinos dependiendo de la etapa productiva en la cual se encuentren (etapa: seca, lactancia, periparto, entre otra). Adicionalmente, se puede indicar que el periodo “Periparto”, es una de las etapas más importantes por las que una vaca de ordeño debe pasar, ya que los cuidados que tenga en esta etapa impactarán en la producción de leche de toda la lactancia. Lo anterior, es debido a que la mayoría de los padecimientos en las vacas en producción (mastitis, retención de placenta, metritis, endometritis, hipocalcemia, etc.) se presentan en los primeros 30 días después del parto.

Además, la importancia del periodo periparto es tan evidente que de cada dos vacas lecheras que inician esta etapa, una presenta problemas de salud durante el primer mes de producción, lo cual representa pérdidas cuantiosas en la producción de leche a la venta (>30%). Lo anterior, sin considerar la leche de desecho, los gastos de medicamentos y el desecho prematuro de vientres. Debido a su relevancia, en los hatos tecnificados de alta producción se han desarrollado diversos protocolos para el cuidado y atención de las vacas en el periodo periparto para tratar de aminorar este problema. Sin embargo, en sistemas de producción de menor tamaño y en sistemas tropicales de leche no se tienen los cuidados más básicos durante el periodo de transición presentándose un mayor número de problemas que impactan la producción de leche en la lactancia completa.



Estudios recientes, indicaron que la administración de ácido acetilsalicílico durante los primeros tres días después del parto, reduce la incidencia de enfermedades y mejora la producción de leche. Con base en lo comentado con anterioridad, el objetivo del presente artículo es documentar los efectos del ácido acetilsalicílico suministrado oralmente los primeros días después del parto y su efecto en la producción de leche y calidad de la leche en condiciones tropicales.

Ácido acetilsalicílico

El ácido acetilsalicílico, es un compuesto sintético obtenido originalmente del sauce *Salix alba*, actualmente se sintetiza a partir del fenol. Químicamente, es un éster acílico del ácido salicílico, ligeramente hidrosoluble pero muy soluble en alcohol y estable al contacto con el aire. Está categorizado como un antiinflamatorio no esteroideo que está indicado como analgésico, antiinflamatorio y antipirético en diferentes especies animales. Sin embargo, también es utilizado por sus efectos en la inhibición de la agregación plaquetaria, por lo que tiene propiedades antiplaquetarias o anticoagulantes.

El uso de los salicilatos para el tratamiento de diversas afecciones, se remonta desde la antigüedad, se tiene registrado que Hipócrates recomendaba masticar hojas de sauce para el tratamiento del dolor en sus pacientes; en épocas posteriores, en 1828, Johann Buchner, un químico alemán, pudo aislar del sauce *S. alba* pequeñas cantidades de un compuesto llamado salicina. Posteriormente, en 1835, el químico Karl Lowig, aisló el ácido salicílico que había extraído de la planta *Spiraea ulnaria* y en 1853 Charles Gerhardt, logró sintetizar por primera vez el ácido acetilsalicílico aunque de forma impura, a partir del ácido salicílico, sin embargo, su descubrimiento permanecería en el anonimato hasta años posteriores.

En 1863 Friedrich Bayer funda la farmacéutica Bayer y sería hasta 1897 que Arthur Eichengrun y Félix Hoffman, dos químicos que trabajaban para esta compañía, retoman nuevamente las investigaciones con el ácido salicílico para crear un nuevo compuesto con menos efectos negativos y logran sintetizar de forma pura el ácido acetilsalicílico. Finalmente, en 1899 crean el nombre de Aspirina, inspirándose con la “a” de acetilo, “spir” de la planta *Spiraea ulnaria* e “in o ina”, terminación común para los medicamentos de aquella época.

Farmacodinámica del ácido acetilsalicílico

El ácido acetyl salicílico es un fármaco que actúa como analgésico, antipirético y antiinflamatorio, este fármaco tiene la acción de inhibir la biosíntesis de las prostaglandinas, como consecuencia de su unión covalente con la enzima ciclooxigenasa o prostaglandina – sintetasa.



Los mecanismos íntimos que provocan dilatación y constricción del calibre de los vasos sanguíneos son complejos. Existen muchos elementos que actúan sobre el endotelio vascular, algunos de ellos mediados por una sustancia llamada ciclooxygenasa. El ácido acetil salicílico inhibe la acción de la ciclooxygenasa, su administración además de interferir en el mecanismo de agregación de las plaquetas- contribuye a mejorar el flujo sanguíneo.

Período de transición de la vaca productora de leche

El periparto también llamado periodo de transición, es la etapa más importante en el ciclo de lactancia de las vacas lecheras, comprende entre las tres semanas preparto a las tres semanas posteriores del mismo y durante este periodo, se presentan la mayor parte de las enfermedades y trastornos que afectan la salud del ganado lechero.

Durante este periodo, las vacas se enfrentan a cambios fisiológicos que se consideran adaptaciones metabólicas para soportar el paso de un estado gestante no lactante, pues después de concluir el parto, el organismo de las vacas aumenta de forma rápida la demanda de glucosa para la síntesis de la lactosa que servirá para la producción de leche.

En consecuencia, uno de los principales cambios metabólicos es el Balance Energético Negativo (BEN), que, aunado a un bajo consumo de materia seca y una alta demanda de energía, ocasionada por la lactación, provocan diversas alteraciones a nivel bioquímico y metabólico, como hipoglucemia y cetosis. Adicionalmente, después del parto, la ingesta total de energía es inferior a las necesidades requeridas, por lo que la síntesis de glucosa depende en mayor parte de la gluconeogénesis hepática y al haber una deficiencia de precursores glucogénicos, se inicia una movilización de ácidos grasos provenientes del tejido adiposo compensando así esas necesidades.

La inmunosupresión durante el periodo de transición es algo bien documentado. En un momento muy próximo al parto, de forma natural la actividad de los leucocitos se ve disminuida ocasionado por los cambios hormonales que ocurren en el organismo de la vaca, como el aumento de la producción de estrógenos, la disminución de progesterona y, la liberación de cortisol a consecuencia del estrés ocasionado por el parto; todo este desbalance hormonal más un desbalance energético y hasta proteico ocasiona que el sistema inmune se vea comprometido, lo que repercute en más incidencia de enfermedades infecciosas como metritis y mastitis.

Adicionalmente, durante este periodo y más específicamente durante el posparto, se ha observado que existe una inflamación sistémica, que puede variar en gravedad y varios estudios sugieren que esta está ligada a los problemas de salud del periparto, este tipo



de inflamación sistémica en la vaca posparto se ha comparado con la inflamación de bajo grado o inflamación metabólica, también llamada “metainflamación”, la cual es similar a la que sufren los humanos con obesidad, pues ambas se caracterizan por una circulación elevada de proteínas inflamatorias sin que haya una lesión específica.

En un estudio, donde se utilizaron varios grupos de vacas periparturientas, se encontró que las vacas con índices mayores de proteínas inflamatorias al momento del parto, tenían más posibilidad de presentar algún trastorno de salud y que además se traducían en una menor fertilidad y baja producción de leche. Debido a lo anterior, los autores concuerdan que la inflamación sistémica en el posparto, se produce a un nivel subclínico y está caracterizada por la circulación de proteínas inflamatorias, comprometiendo el bienestar de las vacas lecheras y generando un deterioro de salud. Además, las vacas con una inflamación subclínica, compensan el alto consumo de energía con la disminución de la producción de leche, pareciendo ser una forma de supervivencia, para evitar comprometer más su desequilibrio metabólico.

Efecto del ácido acetil salicílico en ganado lechero

La administración de fármacos como los salicilatos, en el ganado vacuno y más específicamente, el uso de ácido acetilsalicílico está bien documentado en diferentes estudios. La administraron diaria de 15 g de ácido acetilsalicílico vía oral por 3 días seguida por dos días más de 7.5 g después del parto incrementó la producción de leche, mejoró los índices de fertilidad en el primer servicio, hubo una mejor respuesta al estado inflamatorio y estas vacas tratadas tuvieron también una mayor pérdida de condición corporal.

Otro estudio que ocupó dosis de 15 g y 7.5 g por 3 días y 2 días respectivamente, de acetil salicilato de lisina, durante los primeros días de lactancia, observó que los animales con tratamiento tuvieron una menor incidencia de enfermedades, un aumento en la producción de leche y mayor pérdida de condición corporal, explicada tal vez por el aumento de la producción, todo esto en comparación con las vacas no tratadas.

En otra investigación, se demostró que la administración de salicilato de sodio vía oral en el agua de bebida (1.95 g/l), a grupos de vacas con diferente tiempo de haber parido, aumentó la producción de leche, grasa láctea e incrementó la proteína en un 14%, en vacas con una paridad superior a tres meses.

En otro experimento se utilizó salicilato de sodio a una dosis de 1.95 g/l de agua de bebida. Se evaluaron las alteraciones metabólicas que presentaron las vacas tratadas y del grupo control. Se identificó, que los animales tratados tuvieron un mayor nivel de glucosa en sangre, un incremento de grasa en la producción de leche y que al término



del tratamiento de siete días, los niveles en plasma de eicosanoides inflamatorios tuvieron una tendencia a elevarse.

En cuanto a la salud de la glándula mamaria, la literatura reporta un mayor número de casos de mastitis en los grupos control y que existió un efecto de la aplicación del ácido acetilsalicílico en mejorar la salud de la glándula mamaria. Lo anterior debido a una disminución del proceso inflamatorio con la utilización de medicamentos como los salicilatos, así como una menor concentración de proteínas inflamatorias. La menor incidencia de mastitis a causa del ácido acetilsalicílico tiene relación con una mejor funcionalidad de la glándula mamaria y por resultado una mayor producción de leche.

Considerando el efecto del ácido acetilsalicílico en el periodo de días abiertos, algunas investigaciones determinaron una mejor fertilidad y una reducción de los días del parto a la gestación entre el grupo tratamiento y control. Los beneficios del ácido acetilsalicílico también se han reportado en vacas de doble propósito en condiciones tropicales. En un estudio realizado en la zona norte de Veracruz se administraron vía oral 7 g/día/animal, durante los primeros tres o siete días después del parto. Dónde, las vacas tratadas en estos dos grupos tuvieron mejores producciones de leche, incluso mayor densidad de la leche, comparadas con las vacas no tratadas. Así mismo, también se reportó un retardo en el tiempo de coagulación sanguínea hasta por 2.12 minutos en vacas tratadas comparadas con las vacas control.

En otro estudio en 2021 también realizado en vacas de doble propósito en condiciones tropicales se administraron vía oral 7 o 5 g de ácido acetilsalicílico los primeros tres días después del parto, demostrando que las vacas con cualquiera de las dos dosis de ácido acetilsalicílico incrementaron su producción de leche y presentaron una menor prevalencia de mastitis subclínica comparadas con las vacas del grupo control. Interesantemente los beneficios del ácido acetilsalicílico en vacas de doble propósito son similares a los de las vacas altas productoras en sistemas de producción intensiva.

Conclusiones

Debido a su farmacodinámica en los bovinos, el uso adecuado del ácido acetilsalicílico durante el posparto reduce el proceso de inflamación metabólica generalizada, mejora la producción de leche durante el inicio de la lactancia y reduce el número de cuartos con problemas de mastitis subclínica. El tratamiento posparto más comentado en la literatura es de 15 g diarios durante tres días después del parto seguido por 2 días más de 7.5 g.



Referencias

- Aleri, J. W., Hine, B. C. Pyman, M. F. (2016). Periparturient immunosuppression and strategies to improve dairy cow health during the periparturient period. *Research in Veterinary Science*, 108, 8-17. doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.07.007
- Bertoni, G., Trevisi, E. Piccioli-Capelli, F. (2004). Effects of acetyl-salicylate used in post-calving of dairy cows. *Veterinary Research Communications*, 28, 217-219. doi.org/10.1023/B:VERC.0000045410.86004.03
- Bertoni, G., Trevisi, E., Han, X., Bionaz, M. (2008). Effects of inflammatory conditions on liver activity in puerperium period and consequences for performance in dairy cows. *Journal of dairy science*, 91(9), 3300-3310. doi.org/10.3168/jds.2008-0995
- Bertoni G., Minuti A., Trevisi, A. (2015). Immune system, inflammation and nutrition in dairy cattle. *Animal Production Science*. 55, 943–948. doi.org/10.1071/AN14863
- Bradford, B. J., Yuan, K., Farney, J. K., Mamedova, L. K. Carpenter, A. J. (2015). Invited review: Inflammation during the transition to lactation: New adventures with an old flame. *Journal of Dairy Science*, 98(10), 6631-6650. doi.org/10.3168/jds.2015-9683
- Braña, M. F., Del Río, L. A., Lombardero, C. T. Sánchez, N. S. (2005). La verdadera historia de la Aspirina. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 4(71), 813-819. https://analesranf.com/wp-content/uploads/2005/71_04/7104_04.pdf
- Campos, R., Orozco, A. C., Burbano, G. L. Z., Córdoba, P. A. (2018). Alteraciones bioquímicas y metabólicas en el período de transición en vacas lecheras. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 11-11. doi.org/10.22490/21456453.2123
- Drackley, J. K. (1999). Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *Journal of Dairy Science*. 82(11), 2259-2273. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75474-3
- Drackley, J. K., Dann, H. M., Douglas, N., Guretzky, N. A. J., Litherland, N. B., Underwood, J. P., Loor, J. J. (2005). Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Italian Journal of Animal Science*, 4(4), 323-344. doi.org/10.4081/ijas.2005.323



- Farney, J. K., Mamedova, L. K., Coetzee, J. F., Minton, J. E., Hollis, L. C., Bradford, B. J. (2013). sodium and physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science*, 80, 1260-1268.
- Kauffman, G. (1989). Aspirin-induced gastric mucosal injury: lessons learned from the animal model. *Gastroenterology*, 96, 606-614. doi.org/10.1016/S0016-5085(89)80056-3
- Lammoglia, M. A., Avalos, I., Cabrera, A., Rojas, M. A., Garcez, N. y Tabarez, A. (2021). Indicators of immunosuppression peripartum in dual purpose cows in the tropics affected health, productive and reproductive parameters. *Animal Reproduction*, 18(4), 1-9. doi.org/10.1590/1984-3143-AR2021-0040
- Leblanc, S. J., Osawa, T., Dubuc, J. (2011). Reproductive tract defense and disease in postpartum dairy cows. *Theriogenology*. 76, 1610-1618. doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.07.017
- Trevisi, E., Bertoni, G. (2008). Attenuation of inflammatory conditions in periparturient dairy cows with acetylsalicylate treatments. *Aspirin and Health Research Progress*, pp. 22-37. <https://hdl.handle.net/10807/21394>
- Yuan, K., Farney, J. K., Mamedova, L. K., Sordillo, L. M., Bradford, B.J. (2013). TNF α altered inflammatory responses, impaired health and productivity, but did not affect glucose or lipid metabolism in early-lactation dairy cows. *PLoS One*, 8(11), e80316. doi.org/10.1371/journal.pone.0080316



Efecto del estrés en ovinos durante el proceso de matanza

Enrique Daniel Archundia Velarde^{1*}, Gisela Velázquez Garduño¹, Jorge Osorio Avalos², María Mariezcurrena Berasain, Lizbeth Guadalupe Verduzco León³

¹Carrera de Procesos Alimentarios y Química Área Biotecnología, Unidad Académica de Capulhuac de la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, Calle sin Nombre 611 Ote., Col. Lomas de San Juan, Capulhuac, Méx. 52700. ²Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto Literario 100, 50000, Toluca, Edo. de México, México. ³Universidad Autónoma del Estado de México Estudiante del Programa de la Especialidad en Producción Ovina. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto Literario 100, 50000, Toluca, Edo. de México, México. enrique.archundia@utvtol.edu.mx*, gisela.velazquez@utvtol.edu.mx, josorioa@uaemex.mx, mamariezcurrenab@uaemex.mx, lverduzcol001@alumno.uaemex.mx

Introducción

El bienestar animal se ha convertido en un tema de gran importancia en la producción de animales de abasto, al tener efecto positivo o negativo en la calidad final del producto final denominado carne, por lo que es motivo, de gran preocupación para productores como para consumidores el conocer si durante la producción o manejo *ante-mortem* los animales sufren y son sometidos a factores de estrés. El bienestar animal puede definirse como el estado de completa salud física y mental, en que el animal es capaz de adaptarse al ambiente que le rodea.

Todos los animales perciben constantemente estímulos externos ante los que necesitan adaptarse y para ello, el organismo pone en marcha el mecanismo que tradicionalmente se conoce como respuesta de estrés o respuesta de adaptación que le permite adaptarse y sobrevivir, esta respuesta consiste en un cambio en la conducta del animal, al mismo tiempo que se activan los sistemas neuroendocrinos. De los factores estresantes en el proceso de producción de carne, la insensibilización es uno de los más importantes, al ser considerado el último manejo al cual es sometido el animal, su objetivo es que el animal pierda en forma inmediata la conciencia, para así evitar cualquier sufrimiento innecesario durante el sangrado facilitando la inmovilización correcta del animal y con ello una adecuada realización del corte de los vasos sanguíneos.

Una mala insensibilización puede afectar las características naturales de la carne fresca como son las propiedades físico-químicas (pH, capacidad de retención de agua, color, textura, etc.), organolépticas (suavidad, consistencia, olor, sabor) y microbiológicas afectando con ello la reiteración de compra y poniendo en riesgo la salud de los consumidores.



Fisiología del estrés

El estrés se define como la acción de estímulos nerviosos y emocionales provocados por el ambiente sobre los sistemas nervioso, endocrino, circulatorio y digestivo de un animal, produciendo cambios medibles en los niveles funcionales de estos sistemas, alterando la homeostasis interna induciendo cambios en la actividad del sistema nervioso autónomo y el eje hipotálamo-pituitario- adrenocortical- HPA.

La presencia o ausencia de estrés son indicadores del bienestar animal, la evolución de las especies ha permitido que desarrollen mecanismos fisiológicos y comportamentales para enfrentar el estrés. sobre la situación y no puede predecir lo que va a suceder provocando riesgos al bienestar y la vida del individuo. El sistema nervioso autónomo es el responsable de la respuesta inmediata del individuo hacia una amenaza, su activación se produce por aquellos estímulos que son percibidos por los órganos de los sentidos (receptores exteroceptivos) y receptores dentro del organismo (receptores interoceptivos). Una vez que el sistema nervioso central percibe una amenaza se desarrolla una respuesta que combina cuatro respuestas de defensa biológica: comportamiento, sistema nervioso autónomo, inmune y neuroendocrino.

El eje hipotálamo-pituitario-adrenal es la respuesta neuroendocrina responsable de la regulación de la secreción de glucocorticoides en la corteza adrenal, se presenta la liberación de corticotropina y la vasopresina en el hipotálamo, que actúan sobre la hipófisis anterior estimulando la liberación de la hormona adenocorticotrópica, la cual se libera en el torrente sanguíneo para estimular la síntesis y secreción de glucocorticoides, cortisol en la corteza adrenal, el índice de declinación del cortisol es de 60-90 minutos. Simultáneamente, se estimula la liberación de catecolaminas (adrenalina, noradrenalina y dopamina) desde la medula adrenal, así como las hormonas tiroideas. Los glucocorticoides se unen a dos tipos de receptores los mineralocorticoides y los de glucocorticoides, que se encuentran en la amígdala, el hipocampo, la corteza prefrontal y órganos periféricos regulando la transcripción y la represión de genes.

El cortisol aumenta la disponibilidad de energía y las concentraciones de glucosa en sangre, porque estimula la proteólisis, lipólisis, la gluconeogénesis en el hígado aumentando la síntesis de enzimas implicadas en la conversión de aminoácidos y lactato en glucosa, aumentando la movilización de los aminoácidos desde el músculo. Este cortisol puede convertirse en cortisona de menor efectividad biológica y su transformación es atribuida mediante una reacción reversible por lo que se debe considerar a la cortisona en la retroalimentación negativa.

Cuando se presenta el proceso de retroalimentación negativa, permite que el cortisol actúe sobre el hipotálamo y la hipófisis disminuyendo la producción de CRH y ACTH, es



aquí donde el organismo intenta adaptarse o afrontar la presencia del factor estresante, donde se presenta una normalización de los niveles de corticoesteroides teniendo como resultado la desaparición del estado de estrés.

Se habla de dos tipos de estrés, el eustrés y el diestrés, cada uno con sus particularidades, el eustrés es la respuesta fisiológica a corto plazo que permite al animal enfrentarse al estímulo estresante, poniendo en marcha un patrón de comportamiento adecuado e intentando resolver la demanda energética generada, cuando supera el factor estresante considerado como una amenaza, se desactiva la respuesta de estrés y se adapta al evento estresante. Por otro lado, el diestrés es la forma perjudicial del estrés este se lleva a cabo cuando no hay mecanismos para neutralizar al desencadenante, suele ocurrir cuando el animal no tiene control.

Fases del estrés

La producción del estrés consta de tres fases: Reacción de alarma, estado de adaptación o resistencia y fase de agotamiento. Reacción de alarma: ante la percepción de una posible situación de estrés, el organismo empieza a desarrollar una serie de alteraciones de orden fisiológico y psicológico que lo predisponen a enfrentarse a la situación estresante.

Estado de adaptación o resistencia: cuando un individuo se expone de forma prolongada a la amenaza de agentes físicos, químicos, biológicos o sociales, el organismo, si bien prosigue su adaptación a estas demandas de manera progresiva, puede disminuir sus capacidades de respuesta volviendo al equilibrio dinámico (proceso activo mediante el cual el cuerpo responde a los eventos cotidianos para mantener la homeostasis, se denomina "alostasis") entre el medio interno y externo del individuo.

Fase de agotamiento: si el estresor se prolonga en el tiempo, se entra en esta última fase, donde surgen alteraciones relacionadas con el estrés crónico. La capacidad de defensa del organismo frente a una situación de estrés prolongado conduce a un estado de gran deterioro, con pérdida importante de las capacidades fisiológicas, psicológica o psicosociales tienden a ser crónicas e irreversibles. Ambas tendrán un impacto en la concentración de glucógeno muscular y en los valores de pH. Las respuestas fisiológicas y de comportamiento de los animales ante condiciones adversas son afectados durante manejo y transporte.



Indicadores sanguíneos del estrés en ovinos

Cortisol

Las glándulas suprarrenales juegan un papel clave en el eje hipotálamo-hipófisis-adrenocortical. Las situaciones adversas desencadenan la respuesta de la glándula suprarrenal, aumentando la secreción de glucocorticoides y/o catecolaminas (epinefrina y norepinefrina). La secreción de glucocorticoides es muy variable y pulsátil con una periodicidad de aproximadamente 90 min (ovinos) y se sintetizan por ritmos diurnos y ultradianos. El cortisol juega un papel en el estrés agudo o crónico y es capaz de movilizar las reservas de energía a través de la conversión de glucógeno en energía.

Las concentraciones de cortisol plasmático aumentan cuando los animales son expuestos a condiciones adversas (aislamiento, transporte, etc.). Los niveles de cortisol basal plasmático ronda de 0 a 10 ng/ml. Es considerado tiempo dependiente ya que alcanza sus valores máximos entre 10 a 20 min y cuenta con vida media de 60 min, estudio los niveles de cortisol plasmático sobre el efecto del transporte y tiempo de espera en frigoríficos en corderos donde obtuvo un incremento en los niveles de cortisol plasmático donde el valor máximo lo obtuvo en el degüelle.

Catecolaminas

La respuesta fisiológica del estrés activa el eje simpático-suprarrenal medular activando las catecolaminas adrenalina, noradrenalina y dopamina, las cuales son sintetizadas a partir del aminoácido tirosina; estas modulan el funcionamiento del sistema inmune a través de sus receptores β localizados en órganos inmunes y en los linfocitos T y B, las células asesinas naturales (NK), los monocitos y macrófagos.

La liberación de estas hormonas genera una comunicación con el SNA a través del sistema simpático y parasimpático con los componentes psicofisiológicos de la emoción activando el estado de alerta. También son producidas en las terminaciones nerviosas, por lo que se consideran neurotransmisores. Estas hormonas aumentan la concentración de glucosa en sangre, facilitando un mayor nivel de energía, oxígeno, alerta, poder muscular y resistencia al dolor. También incrementa la circulación, la frecuencia respiratoria, la tensión arterial, el metabolismo, la dilatación pupilar y bronquial.

La adrenalina y noradrenalina se liberan rápidamente uno o dos segundos ante un estímulo y tiene una vida media corta (minutos), la adrenalina por su parte se relaciona con el estrés fisiológico, mientras que la noradrenalina se relaciona con actividad física del ganado. Sin embargo, ambas hormonas limitan la evaluación del estrés en el sacrificio.



Glucosa

La glucosa es la principal fuente energética para los tejidos y es la única de importancia para el sistema nervioso, esta es sintetizada en el hígado y en menor medida, en músculos y riñones. Puede ser suministrada por gluconeogénesis a partir de sustratos glucogénicos como el propionato, lactato, glicerol y algunos aminoácidos. La concentración plasmática o glucemia es de 40-60 mg/dL.

La acción de las catecolaminas liberadas durante la respuesta inicial del estrés, incrementan la frecuencia cardíaca y la presión sanguínea, estimulando la gluconeogénesis hepática, la cual incrementa la disponibilidad de glucosa plasmática (glucemia) en minutos. Este proceso también es producido por el cortisol y las hormonas glucagón e insulina. El organismo animal genera una respuesta al estrés donde los niveles de cortisol activan la glicolisis hepática, la gluconeogénesis e incremento del catabolismo de las proteínas libres. La utilización de la glucosa por otras células disminuye, resultando una hiperglucemia, la cual no puede ser regulada correctamente por la insulina, llevando al páncreas a un agotamiento con alteración final del metabolismo de los glúcidos (hiperglucemia de estrés).

Lactato

El lactato es un precursor gluconeogénico se puede considerar un metabolito aeróbico, utilizable por los músculos esqueléticos y el corazón. El lactato se forma a partir del piruvato durante la glucolisis mediante la deshidrogenasa láctica. Gran parte del lactato derivado de los músculos se transporta al hígado, donde se utiliza para sintetizar glucosa a través de la gluconeogénesis, después la glucosa ingresa a la circulación sanguínea y llega a los músculos para ser utilizada como metabolito en la glucolisis (ciclo de Cori).

Durante el estrés o el ejercicio se desplaza la producción neta de lactato en la glucolisis anaerobia y la disminución en la captación de lactato en el musculo interrumpiéndose la entrada del piruvato al ciclo de Krebs para la obtención de ATP saturando el ciclo de cori. Este metabolito es usado como un indicador de actividad física, agotamiento y daño muscular, es un indicador del estrés agudo, su valor promedio plasmático es de 0.6-2.2 mmol/L.

Creatín Fosfoquinasa (CK)

La CK es una enzima de naturaleza proteica que se encarga de catalizar la transferencia reversible de la fosfocreatina al Adenosin Difosfato (ADP) formando así Adenosin Trifosfato (ATP). Esta enzima es necesaria para el funcionamiento de los celulares musculares, cuando se presentan alguna lesión en el musculo esquelético o se presentan un ataque al corazón se eleva sus niveles plasmáticos. Los niveles basales se aumentan durante la insensibilización y la sangría.



Volumen globular acumulado (hematocrito)

Es el porcentaje de volumen sanguíneo ocupado por los eritrocitos y un excedente de fluido; su valor depende del número y tamaño de los eritrocitos. Un aumento del volumen globular acumulado (VGA) puede deberse a dos causas, 1) al movimiento de fluidos fuera del sistema vascular, 2) por contracción esplénica debido a una estimulación simpático-adrenal o el aumento de catecolaminas, teniendo como consecuencia una liberación de eritrocitos en la circulación. Los electrolitos y fluidos pueden ser evaluados por el VGA, cuando se presenta un estado de estrés como lo es el transporte, el ayuno o la baja ingesta de agua se presenta una pérdida excesiva de líquidos aumentando el VGA, y en consecuencia se reduce el volumen sanguíneo circulante y aumenta la concentración de la sangre. Si el VGA se encuentra en niveles muy altos su retorno a niveles basales puede durar hasta una semana, en cambio, si existe un estrés crónico el VGA aparece disminuido. El valor del hematocrito en ovinos está entre 27-45%.

β hidroxibutirato (β -HBA)

El β - hidroxibutirato forma parte de los cuerpos cetónicos junto con el aceto- acetato y la acetona, estos cuerpos cetónicos son moléculas derivadas de lípidos sintetizadas en el hígado que pasan a la circulación sanguínea para llegar a diferentes tejidos, para ser transformados en las mitocondrias en acetil-CoA. Cuando existe un periodo de ayuno se presenta una adaptación metabólica en el cerebro donde se disminuye la utilización de glucosa y se aumenta el uso de cuerpos cetónicos. La falta de alimentación en el transporte genera un aumento del β -HBA en los niveles sanguíneos. Su valor en ovinos es < 0.71 mmol/l.

Albumina

La albumina es una proteína plasmática que se localiza en el espacio extravascular, es una proteína hidrosoluble. Es sintetizada en los ribosomas unidos al retículo endoplásmico de los hepatocitos, su vida media es de 12 a 20 días y su tasa de renovación es de 12 a 15 g/día. Las funciones que desarrolla son las relacionadas con el mantenimiento de la presión osmótica coloidal, facilita el metabolismo y la desintoxicación de diversas sustancias (bilirrubina, metales, ácidos grasos libres) y potencia la eliminación de los radicales libres. En situaciones de estrés se presenta una hipoalbuminemia, disminuyendo las concentraciones de albumina plasmáticas, si persiste las condiciones estresantes el nivel sérico irá decreciendo hasta llegar a valores muy bajos.



Proteínas totales

Las proteínas son polímeros complejos de aminoácidos que producen las células vivas. La función es mantener la presión osmótica coloidal del plasma, evitando que se genere una pérdida de líquidos hacia los tejidos. El contenido de proteínas dependerá del estado nutricional, funcionamiento hepático, renal y metabólico. El aumento de proteínas totales y albumina en plasma de los animales es debido a la deshidratación causada por los largos viajes, y vuelven a niveles normales cuando se tiene descanso.

Bienestar animal ovino

El bienestar animal siempre ha sido un concepto presente en la conciencia de la relación humana para evitar o disminuir en lo menor posible el sufrimiento de los animales. En un primer enfoque coloca el énfasis en el estado y entorno físico del animal (salud, alojamiento, ambiente), identificando así el bienestar cuando los animales se encuentren libres de enfermedades, lesiones, desnutrición o anomalías fisiológicas, de manera que sean capaces de prosperar, con niveles de crecimiento y reproducción normales.

Inicialmente la expresión “bienestar animal” (BA) surgió en la sociedad para expresar inquietudes éticas con respecto al tratamiento que se da a los animales, para posteriormente pasar a significar un concepto científico, considerándose que las actuales preocupaciones por el bienestar de los animales de cría intensiva se originaron en la década de los '60 del pasado siglo a raíz de las publicaciones del libro *Animals Machines* y del Informe Brambell, ambos ocurridos en el Reino Unido. En este último, la comisión designada por el gobierno inglés y conformada por veterinarios, investigadores en ciencia animal y biólogos definieron el bienestar animal como “un término amplio que abarca tanto los aspectos físicos como los aspectos psíquicos del animal. Por lo tanto, todo intento de evaluación del bienestar debe tener en cuenta las evidencias científicas disponibles relativas a las sensaciones de los animales que puedan deducirse de su estructura, su función y su comportamiento”, incorporando dentro del concepto de bienestar animal tanto el estado físico como el mental. Se identifican tres diferentes perspectivas relacionadas a la importancia del BA: 1) Funcionamiento biológico, según el cual, el bienestar animal depende de un alto nivel de salud, crecimiento, eficiencia y producción (enfoque veterinario), 2) Esta se concibe como un estado de vida natural, según la cual, los animales deben ser libres en un ambiente natural y utilizar las adaptaciones propias de su especie (enfoque de consumidores y críticos que se oponen a la industrialización de la producción animal) y 3) esta última hace énfasis en el estado sentimental de los animales y recomienda prevenir estados negativos como el dolor, sufrimiento o miedo y posibilitar los estados positivos como confort y satisfacción.

Para garantizar el bienestar animal de los animales destinados al consumo humano durante las operaciones que preceden y que permiten la matanza o sacrificio hasta la muerte de los animales de abasto. Estos deberán ser manipulados de modo que su



transporte, estabulación, sujeción y sacrificio no les cause estrés innecesario. Involucrando el personal encargado de las operaciones, el comportamiento animal, cuidado de los distractores, construcciones especiales, el desplazamiento y manipulación de los animales previo al sacrificio entre otros aspectos relacionados y regulados para promover y asegurar las prácticas que disminuyan o eviten el maltrato animal.

Operaciones pre-matanza que generan estrés en ovinos

Las causas de estrés en los animales de abasto son de muy diversa naturaleza, la intensidad de la respuesta puede depender de factores intrínsecos y extrínsecos como la edad, sexo, raza e incluso la naturaleza glucogénica de la ración y por tanto el clima y el ambiente.

El periodo pre-sacrificio es aquel comprendido entre el momento en el que el animal abandona la granja de cría hasta que es introducido en el conducto de contención para su sacrificio. Durante este periodo ocurre el transporte, un aumento del manejo y el contacto con el ser humano, cambios sociales y contacto con nuevos individuos, así como la privación de agua y comida. Estos eventos pueden generar dos tipos de estrés: el estrés psicológico, causado por la novedad, el contacto con nuevos individuos, la separación del grupo social en el que el animal se ha criado y el manejo; y el estrés físico, causado por factores como el hambre, la sed, la fatiga, etc.

Transporte

La cadena de transporte es uno de los puntos donde más se puede generar estrés en los ovinos y esta incluye actividades que cubren la precarga, carga de ganado, el viaje de transporte y descarga.

La intensidad de la experiencia del transporte en los animales depende de la calidad de la conducción y el estado del camino (vibración y el ruido), la duración del viaje, el tiempo de privación de alimento y agua, las condiciones atmosféricas, el diseño de los vehículos, la densidad de carga en el vehículo y la mezcla social. A estos aspectos habría que sumar la novedad del ambiente para el animal, al constituir un fuerte cambio, el cual pasa de uno habitual en el que tiene sus necesidades básicas cubiertas y está sometido a estresores de baja intensidad de acción crónica, a otro en el que se halla sometido a estresores del tipo agudo y de alta intensidad. Todos estos factores son dependientes de la raza y tipo de animal.

Los factores que más efecto en generación de estrés tienen durante el transporte son: La carga y la descarga al ser una de las principales prácticas de manejo que más afectan al bienestar animal durante el transporte. Debido a que se somete a los animales a espacios novedosos y actividad física intensa. Por este motivo, se producen cambios fisiológicos que se ven exacerbados cuando se les unen otros factores estresantes como la mezcla



de animales, el ruido, el cambio de luz o temperaturas altas. El transporte no adecuado, el cual puede generar consecuencias negativas como deshidratación, pérdida de peso corporal, hematomas, deterioro del sistema inmune y aumento de la morbilidad y mortalidad. Además de que algunos estudios también indican que factores como el tipo de explotación tiene efectos negativos, siendo las razas provenientes de sistemas extensivos las que presentan mayores reacciones de estrés en comparación con los animales que se han mantenido en sistemas intensivos. También, se reportó que las distancias son importantes al mostrar que, en trayectos largos, la frecuencia cardiaca y niveles de cortisol plasmático se incrementan al inicio del transporte, decreciendo gradualmente hasta alcanzar niveles mínimos a las nueve horas de viaje, en este momento los indicadores clásicos de estrés agudo son menos importantes, cobrando mayor importancia aquellos indicadores asociados al metabolismo energético y a los metabolitos asociados a la falta de agua y alimentos. Por otra parte, también se observó que el efecto de la vibración derivada de carreteras pavimentadas y las no pavimentadas afectó significativamente el bienestar generando contusiones y heridas de los animales.

Por lo cual es imprescindible hacer logística en planes de viaje, que abarca a los vehículos, las densidades de carga, la duración del viaje (incluidos los períodos de descanso para el conductor y el ganado), los métodos de arreo, carga y descarga, el agua, las condiciones climáticas, tipo de ruta y caminos recorrido.

Tiempo de espera pre-sacrificio

Existen tres razones fundamentales por las que los animales después de ser transportados al matadero tengan un tiempo de espera antes de ser sacrificados. La primera, permite la planificación del sacrificio por lotes de acuerdo con los requerimientos de la planta); en segundo lugar, el poder inspeccionar al ganado y finalmente la tercera la cual permite a los animales descansar y recuperarse de los “rigores del viaje”. En el matadero, los animales están expuestos a diversos factores que inducen estrés en los animales como olores y ruidos novedosos, privación de alimento, variaciones de temperatura, el ejercicio muscular, mezcla de grupos de animales de distinto origen y el contacto con los operadores. Ante esta exposición, es posible que en el periodo espera en condiciones desfavorables (mezcla social, manejo violento y malas instalaciones) antes del sacrificio puedan afectar negativamente al bienestar de los animales y la calidad de la carne. En este contexto, el descanso de los animales antes del sacrificio permite la recuperación del estrés experimentado durante los procesos de carga, transporte y descarga de los animales. Normalizando las condiciones metabólicas, tales como la renovación de los niveles de glucógeno muscular y el tono muscular, favoreciendo la relajación de aquellos animales más afectados por las condiciones de manejo previas. Además, la fase de reposo previo al sacrificio permite recobrar las condiciones estables del sacrificio y de este modo, contrarrestar las deficiencias de calidad en la carne.



No hay un criterio general sobre el tiempo necesario de descanso antes de sacrificio en los ovinos, aunque ha sido analizado aspectos relacionados con indicadores fisiológicos y de comportamiento. Un período de entre tres y ocho horas de descanso pudiera ser beneficioso para el animal reduciendo el riesgo de deshidratación después de viajes largos. Aunque hay autores que consideran que dos horas son suficientes para que los ovinos se adapten al micro ambiente del matadero, algunos autores extienden este período hasta 12 horas. Estos efectos beneficiosos son altamente dependientes de las condiciones ambientales provistas en el lugar de espera o descanso.

Una forma de disminuir el nivel de estrés en los animales, es exponer a los individuos a los nuevos estímulos de forma gradual. En aquellos animales domesticados, familiarizados con el contacto humano y con el manejo, las respuestas de estrés son menores, por lo que es posible que la domesticación reduzca las reacciones fisiológicas del sistema nervioso. Se ha demostrado que los animales se acostumbran a los procedimientos no aversivos. Sin embargo, nunca se habituarán a aquellos que sí lo son. La forma en que un animal sea tratado al principio de su vida determinará, por tanto, sus respuestas fisiológicas ante futuros agentes estresantes.

Incluso si las condiciones pre-sacrificio son favorables, los animales siguen sometidos a potenciales agentes estresante físicos, tales como el clima, la temperatura, el contacto humano, la estabulación en el matadero, la privación de agua y alimento, la carga.

Matanza de ovinos

Es el proceso donde se mata al animal y al ser considerado un ser vivo se deben seguir algunas recomendaciones como el dejar inconsciente al animal antes de la muerte, con el fin de evitar el dolor, el estrés y la incomodidad del procedimiento. En algunas circunstancias, el sacrificio tradicional puede estar exento de un aturdimiento anterior al sacrificio (rituales religiosos). Pero sea cual fuere el método de aturdimiento, el animal debe estar insensible por un tiempo suficiente y así que el desangrado ocasione una muerte rápida por pérdida de oxígeno al cerebro (anoxia cerebral).

El objetivo de la insensibilización es lograr que el animal pierda instantáneamente la conciencia y no la recupere antes de la sangría. Un mal noqueo y el tiempo entre el noqueo y la sangría generan sufrimiento al animal y hemorragias musculares que afectan la calidad de la carne. Entre los indicadores fisiológicos que se pueden usar para determinar los efectos de la insensibilización, son los niveles sanguíneos de cortisol, glucosa y lactato medidos en la sangría.



En México, la matanza de ovinos para consumo humano, en general se realiza en tres tipos de establecimientos regulados: rastros o mataderos municipales (centros operados administrativamente por los municipios y regulados por la Secretaría de Salud); los Rastros Tipo Inspección Federal (conocidos como Rastros TIF) operados por la Secretaría de Desarrollo Rural (SADER), y los particulares (tienen una operación similar al rastro TIF) y por otro lado se encuentra los rastros no registrados, quienes operan en la clandestinidad.

En general todos los establecimientos a excepción de los no registrados se apegan a las indicaciones de referencia de la Norma Oficial Mexicana. NOM-033-ZOO-2014, Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres, donde de manera específica se indican las condiciones mínimas necesarias y las técnicas adecuadas para poder realizar una matanza adecuada.

Métodos de aturdimiento

El método de aturdimiento seleccionado deberá ser el apropiado para producir la pérdida inmediata del conocimiento y que persista hasta la muerte, y con ello evitar cualquier sufrimiento durante el desangrado. De igual manera poder ofrecer al operario mayor seguridad al facilitar el manejo del animal durante el desangrado. En ovinos, el método de aturdimiento más utilizado es el eléctrico y en menor proporción el mecánico).

Aturdimiento eléctrico

Este método genera una descarga eléctrica en el cerebro produciendo un ataque epiléptico durante el cual el animal queda inconsciente. Los electrodos deben colocarse abarcando el cerebro y con un voltaje >200 voltios, aplicado por >3 segundos cause una pérdida de conocimiento inmediata. Las pinzas de aturdimiento usadas en, ovinos, deben tener electrodos que contengan dos filas paralelas afiladas para penetrar las capas exteriores de la piel, y asegurar los electrodos no resbalen después del primer contacto.

Existen dos métodos de noqueo eléctrico el reversible y el irreversible; el primero produce una insensibilización mediante la aplicación de dos electrodos en la cabeza (solo cabeza); y aquel que se agrega un tercer electrodo aplicado al cuerpo, causando insensibilización, paro cardíaco y muerte (irreversible). Un mal suministro en la frecuencia del voltaje y la onda causan problemas en la calidad de la carne, provocando petequias, hematomas y huesos rotos.

Cuando se realiza un aturdimiento eléctrico efectivo se presentan dos fases: la tónica y clónica. Fase tónica (duración de 10-12 segundos): el animal se colapsa y se vuelve rígido; no hay respiración arrítmica; patas anteriores extendidas y posteriores flexionadas hacia el cuerpo. Fase clónica (duración 20-35 segundos): relajación gradual de los



músculos, pataleo incontrolado; girado del ojo, parpadeo, salivación, micción y/o defecación. Si no se realiza la muerte del animal posterior a la fase clónica se retornar la respiración rítmica y la recuperación subsecuente del animal. La corriente mínima recomendada para animales ovinos es de 1.0 amps directamente en la cabeza. El equipo de aturdimiento deberá contar con un dispositivo de control que indique la tensión “cuadrado medio de la raíz” RMS por sus siglas en inglés (tensión efectiva) y la corriente RMS aplicada (corriente efectiva). Este dispositivo deberá ser usado por personal capacitado y competente, sin otro fin que no sea el de aturdir.

Aturdimiento mecánico

El objetivo de este método es administrar una contención severa en la cabeza del animal seguido de la pérdida de la conciencia. El golpe produce una conmoción cerebral, el cual produce un cambio en la presión intracraneal, provocando la despolarización de las neuronas del sistema nervioso central (SNC). Se usan dispositivos de aturdimiento mecánico (pistolas de embolo oculto) las penetrantes y no penetrantes. Cuando se usa un dispositivo penetrante produce dos tipos de efectos. Cuando el embolo impacta el cráneo causa interrupción de la actividad cerebral y por consiguiente pérdida de la conciencia y el daño físico producido cuando el embolo entra al cerebro. Los elementos requeridos para el aturdimiento son la posición del golpe (posición de tiro) y la cantidad de energía transferida al cerebro del animal (fuerza de impacto). En el caso de los ovinos que tienen cornamenta el embolo se posiciona en la línea media, detrás de la cresta entre los cuernos y se dirige hacia la base de la lengua el desangrado deberá realizarse dentro de 15 segundos. Para ovinos sin cuernos el dispositivo deberá colocarse en el punto más alto de la cabeza y dirigirse verticalmente. Los indicadores de un aturdimiento eficaz son: el animal se colapsa inmediatamente; los ojos permanecen fijos, no hay reflejo corneo; no hay respiración rítmica.

Descabello o puntilla

Es el proceso de destrucción del tejido nervioso en la región del tallo cerebral para asegurar la muerte del animal. Se realiza insertando una puntilla lesionando el bulbo raquídeo al introducirse en la articulación occipito-atloidea, produciendo parálisis motora, pero no hay pérdida inmediata de la conciencia, quedando integras las facultades cerebrales. Es un método económico, tradicional el cual se requiere de habilidad para realizarlo y es recomendado en emergencias sanitarias.

Conclusiones

El bienestar animal y el estrés están relacionados con los factores de transporte, descanso del animal, así como el método de insensibilización empleado. Sin embargo, un factor determinante en conjunto con los antes mencionados, son la higiene, manejos y habilidad de los operarios al realizar cada una de las actividades de matanza de manera



correcta. Debido que a mayor exposición del animal a situaciones de estrés, mayores serán las afectaciones en la calidad de la carne.

Referencias

- Acevedo, J. D., Romero, M., Sánchez, J. A. (2016). Efectividad de dos métodos de aturdimiento de cerdos: electronarcosis de tres puntos y narcosis con CO₂. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 27(4), 668. doi.org/10.15381/rivep.v27i3.12001
- Aguayo, L., Perdomo, S. C. (2021). Bienestar animal y calidad de la canal en ovinos de pelo beneficiados en un frigorífico de Córdoba, Colombia. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(1). doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1836
- Bianchi, G., Garibotto, G., van Lier, E., Franco, J., Feed, O., Peculio, A., Betancurt, O., Courdín, V., Fernández, M. E. (2004). Efecto del transporte y tiempo de espera en frigorífico sobre los niveles de cortisol plasmático, características de la canal y de la carne de corderos pesados. *Agrociencia Uruguay*, 8(2), 89-97. doi:10.31285/AGRO.08.1018
- Bolado, J., Pérez, C., Ríos, F. (2013). Prácticas de manejo previo a la matanza en ovinos y su efecto en la calidad de la carne. *Nacameh*, 7(1), 1–16
- Bozzo, G., Barrasso, R., Marchetti, P., Roma, R., Samoilis, G., Tantillo, G., Ceci, E. (2018). Analysis of stress indicators for evaluation of animal welfare and meat quality in traditional and Jewish slaughtering. *Animals*, 8(4), 1–11 doi:10.3390/ani8040043
- Broom, D. M. (2005). The effects of land transport on animal welfare. *Revue scientifique et technique Office international des épizooties*, 24(2), 683. doi:10.20506/RST.24.2.1605
- Duarte, J., Castro, V. L. E., Romero, S., Aguilar, J. A., Gómez, G. L., Sánchez, G. (2019). Lactato: marker of hypoperfusion. *Medicina Interna de México*, 35(6), 934-943.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). Manejo presacrificio y métodos de aturdimiento y de matanza. *Buenas prácticas para la industria de la carne* [Online]. Disponible en: [tp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/y5454s/y5454s08.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/y5454s/y5454s08.pdf) [Acceso: 05 mayo 2023].
- Gallo, C. (2008). Transporte e bem-estar animal. *Ciênc vet tróp*, 11(supl 1), 70-9.



- Koscinczuk, P. (2014). Ambiente, adaptación y estrés. *Revista Veterinaria*, 25(1), 67–76. doi:10.30972/vet.251555.
- Gallo, C. (2011). Actualización: insensibilización del ganado bovino en Chile. *Boletín Veterinario Oficial*, N°14.
- Minka, N. S., Ayo, J. O. (2009). Physiological responses of food animals to road transportation stress. *African Journal of Biotechnology*, 8(25). doi:10.4314/AJB.V8I25.
- Miranda, L. G. C. (2008). Comportamiento y bienestar en la producción animal: Hacia una interpretación integral. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*, 9(10B), 1-8.
- NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Consultado el 28 de noviembre de 2021. Disponible en: <http://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-033-ag-zoo-2014-metodos-para-dar-muerte-a-los-animales-domesticos-y-silvestres>.
- Odeón, M. M., Romera, S. A. (2017). Estrés en ganado: causas y consecuencias. *Revista Veterinaria*, 28(1), 69. doi:10.30972/vet.2811556
- Orlandini, A. (2012). *El estrés: qué es y cómo evitarlo*. Fondo de cultura económica. <https://www.perlego.com/book/1987424/el-estrés-qué-es-y-cómo-evitarlo-pdf>.
- Romero, M., Uribe, L., Sánchez, J. (2011). Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne: stress biomarkers as indicators of animal welfare in cattle beef farming. *Biosalud*, 10(1), 71–87. ISSN: 1657-9550.
- Vera, I. Y., Ortega, M. E., Herrera, J. G., Huerta, M. (2019) Bienestar en ovinos y su evaluación. *Agroproductividad*, 12(9), 67–72.
- Zambrano, A., Rendón, J., Trujillo, M., Valero, N. (2019). *Serum creatine kinase concentration and renal functionalism in adults*. 5, 818–842. ISSN: 2477-8818.



El potencial uso de la herbolaria en la medicina veterinaria

Sergio Martínez González¹, Fidel Avila Ramos², Mauricio Arredondo Castro², Gerardo Uriel Bautista Trujillo³, Carlos Enrique Ibarra Martínez³, Carlos Alfredo Carmona Gasca^{1*}

¹Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, Km 3.5 Carretera Compostela – Chapalilla, Compostela, Nayarit, México CP 63700. ²Campus Irapuato-Salamanca, División de Ciencias de la Vida, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal Km. 9, Carretera Irapuato-Silao, Irapuato Guanajuato, México C.P. 36500. ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Campus II, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla-Gutiérrez, Chiapas, México. sergiotepic@hotmail.com, ledifar@ugto.mx, arredondo.mx@ugto.mx, carmonagasca@uan.edu.mx*

Introducción

La importancia de plantas medicinales que se encuentran en áreas naturales ha tenido un repunte en los últimos años desde el punto de vista científico y comercial. Se utilizan entre 50,000 y 80,000 plantas con fines medicinales en todo el mundo. En México cada vez más, los medicamentos vendidos en farmacias de patente tienen como principios activos de origen natural con usos medicinales donde, el 74 % procede de plantas, el 18 % de hongos o levaduras, el 5 por ciento de bacterias y sorprendentemente el 3 por ciento de especies animales desde productos de la colmena hasta serpientes y ranas.

El uso de especies silvestres para curar y resistir enfermedades no es nada nuevo, pues desde tiempos antiguos el uso de plantas medicinales se remonta al menos 4.000 años, y los curanderos han utilizado más de 5.000 especies vegetales. En la actualidad, millones de habitantes en todo el mundo no tienen acceso a la atención sanitaria moderna y basan los cuidados médicos en la medicina tradicional con especies autóctonas, sobre todo muchas comunidades indígenas y locales con conocimientos en remedios tradicionales que pueden beneficiar biotecnología, la agricultura, el desarrollo farmacéutico y la atención sanitaria. Nuestra capacidad de utilizar los recursos silvestres para prevenir enfermedades y mejorar la salud no depende de los seres humanos. La estabilidad de nuestros suministros de alimentos, fibras y otros cultivos está amenazada por plagas, enfermedades, el cambio climático y otras tensiones cambiantes. La capacidad para mantener la producción de cultivos depende de compuestos y genes derivados de parientes silvestres de especies vegetales y animales. La extracción de recursos genéticos de la llamada "biblioteca silvestre" ha supuesto un aumento anual de al menos el 1 % en la productividad agrícola.

Los beneficios del uso de medicinas basadas en fuentes vegetales se siguen descubriendo, según instituciones de salud, al menos el 70 % de los nuevos fármacos introducidos en los últimos 25 años se derivan de fuentes naturales, los fármacos anticancerígenos de origen vegetal, como el taxol aislado del tejo del Pacífico salvan al



menos 30.000 vidas al año en Estados Unidos. Los principios activos del bígaro rosado de Madagascar, redujo la presencia de leucemia infantil un 85 % entre 1960 y 1997. Nuevos compuestos antibióticos descubiertos recientemente en la palma de Madagascar ayudan a frenar la epidemia de enfermedades causadas por microorganismos multirresistentes a los antibióticos. Las nuevas clases de fármacos antivirales derivados de plantas como el anís estrella aumenta la esperanza de vida y es útil para combatir epidemias como la gripe. Fármacos para combatir enfermedades potencialmente mortales como la diabetes, el VIH y la diarrea, se están desarrollando a partir de plantas, microorganismos protozoarios y otras especies de países africanos como Egipto, Somalia, Libia y Gambia.

El potencial uso de las plantas medicinales

Muchas de las especies de plantas medicinales también tienen otros usos como nuevos alimentos, fibras como potenciales usos para combatir el hambre, crear viviendas o generar otros beneficios para las comunidades, sociedades y economías locales. La falta de conocimiento crece a medida que se aceleran los ritmos de pérdida de plantas, peces, vida salvaje y hábitat. Cada especie que se extingue representa no sólo la pérdida potencial de curas vitales para enfermedades como el cáncer o el sida, sino también la pérdida de posibles alimentos ricos en proteínas o vitaminas o de cultivos más productivos y estables; por ejemplo, el apio, cilantro, laurel, almendra, albahaca, café, angélica, puerro, rábano picante, hierbabuena, tomillo, entre otros. Los compuestos presentes en especias y hierbas que tienen actividad antimicrobiana son derivados simples y complejos del fenol, los cuales son volátiles a temperatura ambiente. El primer reporte del uso de las especias como conservadores se remonta a unos 1550 años A. C., cuando los antiguos egipcios las empleaban para conservar alimentos y embalsamar a los muertos. Ciertas especias inhiben el crecimiento de microorganismos. En general son más efectivas las especias frente a organismos Gram positivos, que frente a bacterias Gram negativas.

Las plantas medicinales son una fuente importante de nuevos medicamentos, han sido utilizadas desde la antigüedad en medicina humana y veterinaria por sus propiedades biológicas, como acción larvívica, propiedades analgésicas, antiinflamatorias, antioxidantes, fungicidas, antitumorales, etc., en forma tradicional con especias y componentes alimentarios, que no solo han sido efectivos en el tratamiento de diversas enfermedades, también se presume que mitigan muchos de los efectos secundarios comúnmente asociados con los antimicrobianos sintéticos.

Las plantas y especias naturales son compuestas de una gran variedad de metabolitos secundarios, implicados en su fisiología vegetal, cada uno de ellos cuenta con beneficios biológicos terapéuticos potenciales. Actualmente se han aislado estos compuestos y son



parte de la industria farmacológica, la medicina alternativa nos permite descubrir nuevos componentes de interés terapéutico para ser investigados y puestos a prueba, siendo una opción para el control alternativo de enfermedades, especialmente las que impliquen agentes patógenos con altas tasas de resistencia.

La aplicación de aceites esenciales de plantas y especias en distintos campos tales como gastronomía, medicina y en la industria de los alimentos es numerosa. El clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), anteriormente llamado como *Eugenia caryophyllata*, es una especia ampliamente usada y conocida. Su aceite esencial y extractos han sido analizados y caracterizados debido a que han demostrado tener amplio espectro de acción contra una gran variedad de microorganismos causantes de distintos padecimientos que afectan a humanos, animales y plantas. El objetivo de este documento es recopilar algunos de los aspectos más relevantes acerca de esta especia, resaltando la actividad antimicrobiana de sus extractos y aceite esencial y el uso potencial de éstos en la industria de los alimentos.

El principal hallazgo de este estudio es que el extracto hidroalcohólico de la yema de clavo seco rico en eugenol y derivados de eugenol (76.61 %) ha demostrado su eficacia en la prevención de la pérdida ósea, lo anterior está basado en resultados del análisis de la orina y de suero para los parámetros marcadores primarios y secundarios osteoporóticos. Como corolario, vale la pena mencionar aquí, que naturalmente ocurriendo isoflavonas en virtud de su capacidad de unirse al estrógeno nuclear, los receptores muestran potencialidad estrogénica. Los datos generados en este estudio proponen un papel antiosteoporótico prospectivo de eugenol y derivados de eugenol (76.61 %) presentes en el extracto hidroalcohólico de yema de clavo seco en una situación hipogonadal. Entre las actividades biológicas reportadas del eugenol se encuentran la actividad insecticida, antimicrobiana, antiinflamatoria, cicatrizante de heridas, antiviral, antioxidante y anticancerígena.

Se ha observado capacidad antiinflamatoria y cicatrizante de heridas de una emulsión de aceite de clavo en experimentos con murinos. La piel tratada con eugenol mostró reepitelización 20 días después de la herida. Este resultado fue similar al de un gel de diclofenaco y una crema de neomicina que se usan actualmente para controlar la inflamación y curar heridas. La inhibición de los canales de Na⁺ dependientes de voltaje modula los efectos analgésicos del eugenol. El eugenol induce la activación del canal catiónico V1 del receptor potencial transitorio (TRPV1), un efecto similar a los anestésicos locales como la lidocaína.

El eugenol ha mostrado una potencial actividad anticancerígena contra el cáncer de colon, gástrico, de mama, de próstata y de piel, así como contra el melanoma y la



leucemia, inhibe la proliferación y formación de tumores, aumenta las especies reactivas de oxígeno (ROS), genera apoptosis y tiene un efecto genotóxico en diferentes células cancerosas. El eugenol llega al plasma y la sangre en una vida media de 14 a 18 h. También mostró un efecto acumulativo en el tratamiento del dolor neuropático, tiene un efecto espermicida *in vitro* y una eficacia alérgica cuando se usaba en odontología.

Las hojas de una planta endémica *Glyptopetalum calocarpum* son utilizadas por las tribus Nicobarese de las islas Andaman y Nicobar, India, como medicina tradicional para tratar la fiebre. En un trabajo de investigación realizado en 2014, se aislaron todos los compuestos farmacológicos activos de esta planta y se evaluó su eficacia antimicrobiana frente a las cepas leptospirales. La actividad antileptospiral de seis compuestos derivados de plantas se determinó por métodos de microdilución y macrodilución. Dos de seis compuestos, a saber, lupenona y estigmasterol, mostró actividad antileptospiral. Las concentraciones inhibitorias mínimas de los dos compuestos probados contra cepas leptospirales patógenas pertenecientes a 10 serovariedades estaban en el rango de 100-200 mg / mL. El rango de concentraciones bactericidas mínimas fue de 400 a 800 mg / mL. Los compuestos lupenona, estigmasterol, lupeol, b-amirina y acetato de b-amirina tuvieron una actividad hemolítica insignificante o nula, exhibiendo valores de CI50 superiores a 5 mg/mL. Se necesitan más estudios *in vivo* para investigar las propiedades farmacológicas y toxicológicas de *G. calocarpum* antes de que pueda considerarse como un nuevo agente antileptospiral.

La búsqueda de alternativas antimicrobianas naturales y sin efectos adversos es una prioridad para el tratamiento de enfermedades. Cuando el tratamiento contra las enfermedades es agresivo, aunque sea efectivo, deja la posibilidad de recuperación, pero hay riesgo de provocar un daño permanente y residual en los riñones y en el hígado. Algunas plantas como el ajo es relativamente tóxico para algunas especies, pero en grandes especies y humanos muy rara vez causa reacciones detrimenales, su uso como remedio contra distintos patógenos ha sido bien documentada, aun con ello, la comercialización clínica ya es común. El efecto antimicrobiano del ajo puede ser parecida en sus diferentes orígenes, los estudios necesarios para determinar los criterios de la calidad y seguridad del ajo en usos clínicos contra la leptospirosis tiene que ser evaluados. Los efectos antimicrobianos encontrados marcan que el ajo puede ser una alternativa en el tratamiento contra la leptospirosis.

Las propiedades biológicas y las aplicaciones terapéuticas tanto en enfermedades infecciosas y no infecciosas, así como la seguridad del uso del ajo ha sido demostrada en una amplia variedad de enfermedades. Los hallazgos en diferentes estudios demuestran la composición y la actividad bactericida del extracto de ajo obtenido, pero ensayos controlados *in vivo* utilizando modelos animales y cepas virulentas deberán



realizarse para comprobar la efectividad del ajo en la presentación de la enfermedad y las dosis terapéuticas.

Se ha descubierto que las sustancias antimicrobianas de la mayoría de las especias son los propios aceites esenciales, mezclas de diferentes productos volátiles, entre los que se incluyen alcoholes, cetonas- éteres fenólicos, fenoles, ácidos y sus ésteres. Tal vez, el más estudiado es el ajo, del cual se sabe contiene compuestos tales como la alicina y la alistatina de comprobada acción antibacteriana. El extracto de ajo también tiene un fuerte efecto antifúngico e inhiben la formación de micotoxinas como la aflatoxina de *Aspergillus parasiticus*, inhibe tanto la germinación de las esporas y el crecimiento de hifas. La alicina es el componente principal responsable de la inhibición del crecimiento fúngico. Un extracto de ajo concentrado que contiene 34 % alicina, 44 % tiosulfatos totales, y 20 % vinylmations posee actividad fungicida contra tres cepas diferentes de *Cryptococcus neoformans*.

En cuanto a las propiedades y uso del tomillo señalan que las propiedades digestivas conocidas del Tomillo, son su poder digestivo, estimulante del apetito, antihelmíntico, anticatarral, bactericida, cicatrizante, antiespasmódico, carminativo, expectorante, mucolítico, astringente suave, diafotérico, tonificante, vulnerario. , antioxidante, antiputrescente, antirreumático, antiséptico (intestinal, pulmonar genitourinario), , antitusígeno, antitóxico, diurético, afrodisíaco, tónico nervioso, balsámico, revulsivo, carminativo, emenagogo, rubefaciente, estimulante del sistema inmunitario y de la circulación.

El aceite esencial de Tomillo, fundamentalmente por sus componentes fenólicos, timol y carvacrol, tiene una actividad antibacteriana tanto frente a gérmenes Gram positivos como Gram negativos en otros párrafos lo escriben con máyusculas y separados. Este efecto es debido a su acción sobre la membrana. La eliminación de timol y carvacrol por vía respiratoria produce una actividad antiséptica respiratoria. Por su actividad antibacteriana, el tomillo tiene interés también como antiséptico urinario y de la cavidad bucofaríngea, así como para el lavado de heridas. Además, el timol y el carvacrol tienen una acción antimicótica, efectiva frente a *Candida albicans*.

El neem se encuentra entre las plantas con potencial actividad biológica, del que se ha reportado que sus hojas tienen actividad antioxidante y antibacteriana sobre el crecimiento de algunos patógenos, los extractos acuosos de las hojas de neem protegen contra el daño hepático inducido por el paracetamol en ratas. La actividad biológica del neem, se atribuye a la presencia de polifenoles en la planta, las cuales son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal.

En el punto de vista medicinal se ha utilizado como antiparasitario, antifúngico, antiviral,



antipirético, antiinflamatorio, antibiótico y antioxidante, hepatoprotector, quimiopreventivo contra el cáncer etc., se ha utilizado con algunos ectoparásitos como son las pulgas y garrapatas inclusive se ha utilizado como repelente para los mosquitos. Se aprovecha desde las semillas, hasta la madera del árbol para diferentes males, desde un dolor estomacal hasta enfermedades virales como es el caso de la viruela y la malaria.

Los extractos obtenidos de la semilla de neem contienen diversos agentes bioactivos contra hongos e insectos; el más potente es el nortriterpenoide conocido como azadiractina. Se ha demostrado la presencia de isómeros nuevos de azadiractina, de los cuales azadiractina A es el metabolito más importante por su actividad insecticida y cantidad presente en las semillas de neem.

El tema de los extractos vegetales con fines medicinales se ha tenido en cuenta en todo el mundo, gracias a su gran potencial, en el caso del neem no es la excepción ya que este posee diversos terpenos y compuestos azufrados, que, a variedad de dosis, causan la inhibición de crecimiento, alimentación y de reproducción de más de 400 especies de insectos considerados como plaga. La azadiractina A (del grupo de los tetraidroterpenoides conocidos como limonoides) es uno de los principios biocidas más estudiados y de mayor concentración en el árbol de neem, en las semillas se ha encontrado que se presenta mayor concentración de arizantina. El árbol a partir de los 3-4 años de edad produce alrededor de 50 kg al año, lo que da una idea de su potencial como fuente de sustancias.

Amenazas: destrucción del hábitat, bioprospección y recolección excesiva

Las plantas medicinales están cada vez más amenazadas por la destrucción de sus hábitats, la bioprospección en busca de nuevas fuentes y la recolección excesiva de especies medicinales conocidas. Actualmente, cientos de plantas medicinales nativas de Norteamérica están como "en peligro". Otras 22 especies de plantas están identificadas en la lista "a vigilar". En Estados Unidos de Norteamérica, el Convenio Mundial sobre la Diversidad Biológica, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), el Servicio Forestal, el Centro Nacional para la Preservación de las Hierbas Medicinales (NCPMH), otras sociedades herbolarias y científicos también rastrean, mantienen listas y trabajan para conservar las especies medicinales en peligro en todo el mundo. En México esta función la realiza el Centro de Recursos Genéticos.



Destrucción del hábitat

En 2015, menos del 1 por ciento de todas las especies de plantas tropicales habían sido analizadas para detectar posibles aplicaciones farmacéuticas. Los hábitats se destruyen más rápidamente de lo que los científicos pueden investigarlos. Al ritmo actual de extinción, los expertos estiman que la Tierra pierde al menos un medicamento potencial cada dos años.

Bioprospección y "biopiratería"

Las especies medicinales son muy rentables. Un análisis realizado en 1995 estimó que cada nuevo medicamento derivado de una planta tiene un valor medio de 94 millones de dólares para las empresas farmacéuticas y de 449 millones para la sociedad. Según otras estimaciones, las ventas anuales de plantas medicinales sin receta en Estados Unidos oscilan entre 1.500 y 5.700 millones de dólares, y en todo el mundo alcanzan los 24.400 millones de dólares. El valor de mercado de los medicamentos de venta con y sin receta a base de plantas ascendía a 19.800 millones de dólares en Estados Unidos y a 84.300 millones en todo el mundo. Esta rentabilidad puede hacer que los recursos vegetales medicinales utilizados tradicionalmente, accesibles y asequibles, estén menos disponibles para las poblaciones que han dependido de ellos durante siglos.

Se ha acuñado el término "biopiratería" para describir la práctica de las empresas privadas que patentan remedios tradicionales de origen silvestre y los venden con grandes beneficios, permitiendo a menudo que una parte escasa o nula de esos beneficios revierta en el país o en las comunidades indígenas y locales de origen. A veces, las comunidades indígenas y locales que han utilizado un remedio durante siglos no pueden utilizarlo ni beneficiarse de él después de patentarlo. Por ejemplo, el árbol del neem, pariente de la caoba en el sur de Asia, ha producido germicidas, fungicidas y otros compuestos extremadamente eficaces y rentables. Actualmente, se habían concedido al menos 50 patentes a empresas internacionales para productos extraídos de esta especie. Estas patentes han sido impugnadas por ecologistas y grupos de ayuda internacional.

En 2001, a raíz de una propuesta del gobierno de la India en respuesta a las patentes de productos tradicionales como el neem y el cúrcuma, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) creó un Grupo de Trabajo sobre Conocimientos Tradicionales formado por representantes de Estados Unidos, Japón, la Unión Europea, China y la India, encontrando más de 5.000 referencias de patentes sobre 90 plantas medicinales sólo en las bases de datos de la Oficina de Patentes y Marcas de todo el mundo. De estas 90 plantas medicinales, el 80 % de las patentes se generaron para siete plantas de origen indio. Un examen exhaustivo de 762 patentes concedidas sobre plantas medicinales por la Oficina de Patentes y Marcas reveló que más del 45 % de las patentes podían clasificarse como pertenecientes a sistemas de conocimientos tradicionales.



Debido a la controversia en torno a los derechos de las naciones y las comunidades indígenas sobre las medicinas tradicionales y las especies y productos autóctonos locales, el Convenio Mundial sobre la Diversidad Biológica reconoce específicamente los derechos de propiedad de las comunidades indígenas y locales sobre la explotación comercial de los remedios tradicionales y otras especies autóctonas.

Recolección excesiva

Además de la pérdida de acceso a los remedios tradicionales por parte de los pueblos indígenas, la recolección excesiva de especies supone una amenaza importante para algunas especies silvestres de valor comercial y también para sus hábitats. Esta amenaza es conocida desde hace décadas. Según la Unión Mundial para la Naturaleza, unas 15.000 especies de plantas medicinales pueden estar amenazadas de extinción en todo el mundo por la recolección excesiva. Hace más de 30 años, el Fondo Mundial para la Naturaleza. En México se han publicado varios informes que documentan las amenazas de recolección excesiva para las especies silvestres.

Ejemplos de especies en peligro

Entre los ejemplos de especies que se han identificado como en peligro en estado silvestre se incluyen, Olmo (*Ulmus rubra*). El revestimiento gomoso de la corteza del olmo se ha utilizado durante mucho tiempo en Norteamérica, especialmente en los Apalaches, como calmante para la tos, las dolencias gastrointestinales y las irritaciones cutáneas. Pero ahora, el olmo y otros productos a base de hierbas que antes utilizaban los pueblos indígenas como remedios ancestrales son demandados por millones de personas. La madera del olmo no tiene valor comercial, por lo que se despoja a los árboles de su corteza y se les deja morir. Se sacrifican aproximadamente 12 árboles por cada 25 kg de corteza. Esta especie ha sido identificada como "en peligro" por la SEMARNAT.

Otro ejemplo es el Ginseng americano (*Panax quinquefolius*), las ventas de ginseng silvestre y cultivado superan los 25 millones de dólares al año en Norteamérica, siendo el ginseng silvestre el que se considera más deseable. El ginseng silvestre es tanto más rentable que el cultivado por lo que existe una gran preocupación por el declive y el peligro que corre la especie en estado silvestre. Esta especie está regulada por CITES.

El tejo del Pacífico (*Taxus brevifolia*) y el tejo chino (*Taxus chinensis*), se utilizan para producir medicamentos contra el cáncer. Se han identificado varias especies de tejo que necesitan protección frente a la sobreexplotación para el comercio internacional. *Cimicifuga racemosa*, miembro de la familia de los ranúnculos se ha utilizado tradicionalmente para tratar diversas afecciones, como resfriados, dolor, reumatismo y los síntomas de la menopausia. Casi el 100% del suministro de cimicifuga procede de la



recolección silvestre. Se ha determinado que esta especie está en peligro por la sobreexplotación y la degradación del hábitat.

Sello dorado (*Hydrastis canadensis*), miembro de la familia de los ranúnculos tiene numerosos usos tradicionales como tónico y para tratar dolencias como las hemorroides. Según el NCPMH, cada año se recolectan más de 60 millones de plantas de sello dorado sin ser reemplazadas, y el sello dorado ya está considerado raro, amenazado o en peligro. El comercio internacional de ésta y otras muchas especies está regulado para evitar la sobreexplotación de su medio natural.

Conclusiones

La pérdida de hábitats y la comercialización incontrolada de plantas medicinales silvestres amenazan el futuro de estos recursos vitales, la diversidad y el patrimonio natural de nuestro planeta. A medida que se destruyen o degradan las zonas silvestres, perdemos especies únicas y preciosas, desde flores hasta las especies dependientes de ellas, y con esto, recursos potenciales para combatir el hambre, la pobreza, las catástrofes naturales y la inseguridad social y económica. Esta pérdida de diversidad también puede llevarse por delante importantes curas para enfermedades, tanto las actuales como las que puedan surgir en el futuro.

Nuestras responsabilidades son claras, debemos volver a comprometernos con la conservación de las especies silvestres y los lugares salvajes que nos quedan para que la pérdida de estos recursos sea mínima. En cuanto a las especies de uso comercial, debemos adoptar y aplicar medidas de uso y cultivo sostenibles. Estos métodos ya se están desarrollando por diversas organizaciones públicas y privadas, quienes proponen una serie de acciones entre las que se incluyen, la cartografía de las poblaciones silvestres de especies comerciales; la conservación y restauración de su hábitat; el cumplimiento de todas las leyes y normativas aplicables, como las leyes estatales y federales sobre especies en peligro de extinción, las políticas públicas de uso del suelo, las prohibiciones de recolección, los requisitos para la concesión de permisos y las limitaciones cuantitativas; la colaboración con las comunidades locales e indígenas para conocer y respetar sus derechos, tradiciones y prácticas; el desarrollo y la aplicación de prácticas de gestión responsables y sostenibles; y el desarrollo y la aplicación de prácticas empresariales responsables.

Referencias

Balick, M. J., Mendelsohn, R. (1992). Assessing the economic value of traditional medicines from tropical rain forests. *Conservation Biology*, 6(1), 128–130. <http://www.jstor.org/stable/2385858>



- Boonsai, P., Phuwapraisirisan, P., Chanchao, C. (2014). Antibacterial activity of a cardanol from Thai *Apis mellifera* propolis. *International Journal Medical Sciences*, 11(4), 327-336. <https://doi.org/10.7150/ijms.7373>
- Carraz, M., Jossang, A., Franetich, J. F., Siau, A., Ciceron, L., Hannoun, L., Sauerwein, R., Frappier, F., Rasoanaivo, F., Snounou, G., Mazier D. (2006). A plant-derived morphinan as a novel lead compound active against malaria liver stages. *PLoS Med* 3(12): e513. doi:10.1371/journal.pmed.0030513
- Coronado, I. G., Arias, A. L. P., Leal, E. M., Muñoz, M. M., Nuviola, N. A., Cabrera, I. M. (2017). Uso del aceite de neem (*Azadirachta indica* a. juss) como alternativa agroecológica en el control de mastitis subclínica en bovinos en el municipio Acosta, estado Falcón. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 2(4):180-193. <https://www.redalyc.org/pdf/5768/576866903010.pdf>
- El-Saber, B., Beshbishy, M. G., Wasef, A. G., Elewa, L., Al-Sagan, Y. H., Abd El-Hack, A.A., Taha, M. E., Abd-Elhakim, A. E., Prasad, D. H. (2020). Chemical constituents and pharmacological activities of garlic (*Allium sativum* L.): A review. *Nutrients*, 24;12(3), 872. doi: 10.3390/nu12030872
- Escalante, M. A. A., Béjar, A. A. G., De la Rocha, R. V., Estrada, R. S. G., Fasio, A. C., Quiroz, C. C., López, J. I. P. (2004). Contenido de azadiractina A en semillas de NIM (*Azadirachta indica* A. Juss) colectadas en Sinaloa, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 305-311.
- Esparza-Díaz, G., Lopez-Collado, J., Villanueva-Jiménez, J. A., Osorio-Acosta, F., Otero-Colina, G., Camacho-Diaz, E. (2010). Azadirachtin concentration, insecticide efficacy and phytotoxicity of four neem *Azadirachta indica* A. Juss. extracts. *Agrociencia*, 44(7), 821-833.
- Guidugli, F., Castro, A. A., Atallah, A. N. (2009). Withdrawn: Antibiotics for preventing leptospirosis. *Cochrane Database Syst Review*, 8;(3), CD001305. doi.org/10.1002/14651858.CD001305.pub2
- Gupta, A., Ansari, S., Gupta, S., Narwani, M., Gupta, M., Singh, M. (2019). Therapeutics role of neem and its bioactive constituents in disease prevention and treatment. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 680-691.



- Inungaray, M. L. C., Munguía, A. R., Martínez, A. R., González, C. N. A., Herrera, R. R. (2017). Antioxidant properties of neem (*Azadirachta indica*) infusions encapsulated with soy protein. *Nova Scientia*, 9(18), 167-185.
- Kaur, Y., Dhawan, A., Naveenkumar, B., Tyagi, A., Shanthanagouda, A. (2020). Immuno stimulatory and antifertility effects of Neem (*Azadirachta indica*) leaf extract on common carp (*Cyprinus carpio Linnaeus*). *Indian Journal of Animal Research*, 54(2), 196-201.
- Lores, O. F., Rivas, C. B., de la Vega Acosta, J., Díaz, N. W., Zapata, E. P. (2014). Antioxidant potential of an aqueous leaf extract of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(2), 205-207.
- Mendelsohn R., M. J. Balick. (1995). The value of undiscovered pharmaceuticals in tropical forests. *Economic Botany*, 49: 223-8.
- Talpur, A. D., Ikhwanuddin, M. (2013). *Azadirachta indica* (neem) leaf dietary effects on the immunity response and disease resistance of Asian seabass, *Lates calcarifer* challenged with *Vibrio harveyi*. *Fish & shellfish immunology*, 34(1), 254-264.
- Teles, A. M., Silva-Silva, J. V., Fernandes, J. M. P., Abreu-Silva, A. L., Calabrese, K. D. S., Mendes Filho, N. E., Mouchrek, A. N., Almeida-Souza, F. (2021). Gc-ms characterization of antibacterial, antioxidant, and antitrypanosomal activity of *Syzygium aromaticum* essential oil and eugenol. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 20;2021:6663255.



Enteroparasitosis en caninos y felinos

Socorro Marisa Salgado Moreno^{1*}, Adriana Elizabeth Sesate Flores², Ruth Baudelia Vironchi Lujan², Carlos Alfredo Carmona Gasca¹, Raúl Hassan Adad Figueroa², Sergio González Martínez¹, Bladimir Peña Parra¹

¹Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Medicina Veterinaria, Carretera Chapalilla-Compostela Km 3.1. ²Unidad de Patología Vida Veterinaria. socorro.salgado@uan.edu.mx*, carmonagasta@yahoo.com.mx, sergiotepic@hotmail.com, jbladimir@uan.edu.mx,

Introducción

Los animales domésticos, como los caninos y felinos, son compañeros leales y queridos por millones de personas en todo el mundo. Sin embargo, también pueden ser portadores de parásitos intestinales que afectan su salud y pueden representar un riesgo potencial para las personas. Las zoonosis representan el 60% de las enfermedades en el ser humano y el 75% de las enfermedades emergentes. A nivel mundial, el 35% de las zoonosis son causadas por parásitos y constituyen el principal problema de salud. En México, las helmintiasis están entre las veinte parasitosis con mayor morbilidad, siendo el sector infantil el más expuesto y susceptible. El perro y el gato como mascotas son una fuente de infección parasitaria por el estrecho vínculo que tiene con el humano a través del contacto directo, fómites y suelo contaminado. En México, los parásitos zoonóticos caninos de mayor prevalencia son *Toxocara canis*, *Ancylostoma caninum* y *Dipylidium caninum*. en gatos *Toxoplasma gondii*, *Giardia duodenalis*, *Ancylostoma spp* y *Toxocara cati*.

Además, no todos los tutores de mascotas son conscientes del riesgo que representan los parásitos que presentan los caninos y felinos para la salud humana, y solo una tercera parte de ellos está al tanto de los medios de transmisión de las enfermedades parasitarias. Uno de los principales mecanismos de diseminación de estos parásitos es la liberación de sus formas de resistencia al ambiente, ya sea en forma de huevos, quistes u ooquistes por parte de los perros y gatos.

Las enfermedades parasitarias deben prevenirse mediante el control y tratamiento específico de endoparásitos y ectoparásitos. Muy pocas infecciones parasitarias están únicamente relacionadas con la edad del animal, por lo que el riesgo de infección persiste durante toda su vida, lo que debe tenerse en cuenta para garantizar el control de los vermes durante toda la vida del animal. El tratamiento antihelmíntico adecuado para cada parásito varía según la legislación vigente en cada país, las características epidemiológicas de la zona, la percepción del propietario, y la evaluación de los riesgos individuales (perros de caza, exposición previa a vermes pulmonares, el uso de dietas a base de carne cruda, etc.). Por tanto, la elaboración de unas pautas de desparasitación



adecuadas debe realizarse siempre siguiendo las recomendaciones de un médico veterinario.

La prevención de enfermedades parasitarias requiere el control y tratamiento específico de endoparásitos y ectoparásitos. En muy pocas ocasiones, las infecciones parasitarias están exclusivamente relacionadas con la edad del animal, lo que significa que el riesgo de infección persiste a lo largo de toda su vida. Esto debe de tenerse en cuenta para garantizar un control efectivo de los parásitos durante toda la vida animal.

Las medidas para controlar el riesgo de infección a humanos o de interrumpir el ciclo de la población canina, se ubica en estrategias apropiadas de detección y diagnóstico. La correcta desparasitación canina, además de la minimización del riesgo de contaminación por heces en lugares públicos. Los parásitos son microorganismos unicelulares o pluricelulares que viven a expensas de otro ser causándole perjuicio, que en su mayoría necesitan de organismos específicos para su supervivencia; en medicina, este nombre se ha reservado a los protozoos y los helmintos que viven temporal o permanentemente en el hombre, siendo la mayoría patógenos

Los helmintos son organismos multicelulares con cuerpos alargados y vermiformes. Los helmintos son organismos macroscópicos en algunas de sus fases. Dentro de la clasificación de los helmintos se incluyen dos grupos principales: los platelmintos (gusanos planos) y los nematodos (gusanos redondos). Estos parásitos pueden habitar en diferentes partes del cuerpo de los hospedadores como los intestinos, hígado, pulmones, piel, entre otros, y se alimentan de los tejidos o sustancias nutritivas de sus hospedadores para sobrevivir y reproducirse.

En los caninos, los helmintos afectan principalmente el tracto gastrointestinal y son un riesgo para la salud pública; siempre es importante el estudio de sus ciclos de vida debido a que sus estadios inmaduros son eliminados en las heces, que se consideran como la fuente de contaminación de suelos, a partir de los cuales se podrían infectar los animales y el hombre al ingerir alimentos, agua contaminada, o ingresando vía percutánea, de esta manera, el inadecuado manejo de excretas de la población canina visitante de parque públicos incrementa el riesgo de transmisión de estos patógenos. Pueden causar lesiones multisistémicas a partir de diferentes fenómenos tales como la migración y, en otros casos más complejos, la muerte del hospedero. Dentro de los signos más frecuentes se encuentran: adelgazamiento, con apetito normal, pelo sin brillo, vitalidad disminuida, anemias y, en algunos casos disminución de la fertilidad que puede notarse cuando hay una infestación demasiado grave.



La frecuencia de la parasitosis en México es muy variable, con cifras que fluctúan del 2% al 39%. Un estudio que reunió 37 trabajos realizados en 14 estados de la República mexicana, mostró prevalencia del 18.98%, presentándose la mayor parte de ellos en preescolares y escolares. A nivel de hogares, 69.8% cuenta con algún tipo de mascotas (el porcentaje más alto se presenta en Campeche y el más bajo en la Ciudad de México). En total se tiene un acumulado de 80 millones de mascotas, 43.8 millones de ellas son caninos, 16.2 millones felinos y 20 millones una variedad miscelánea de otras mascotas. Sin duda las mascotas son una presencia importante en la vida de los hogares mexicanos, aunque su significado en términos anímicos parece ser más compleja de lo que pudiera sugerir una mera asociación directa

Los parásitos intestinales (bien sean nematodos o gusanos redondos o gusanos planos) constituyen un problema sanitario por el hecho de que en nuestro país todavía hay poca gente concientizada de que debe recoger los excrementos con bolsa, que las mascotas hacen en la vía pública. La transmisión de los enteroparásitos en caninos y felinos está asociada a diversos factores de riesgo. Entre ellos se incluyen la falta de medidas de higiene adecuadas, el acceso a agua y alimentos contaminados, el contacto con otros animales infectados y la presencia de vectores como pulgas y garrapatas. Además, las condiciones ambientales también pueden desempeñar un papel importante en la supervivencia y propagación de estos parásitos.

Parásitos intestinales comunes en caninos y felinos

Protozoosis- Cystoisosporiasis

Parásito del grupo de los coccidios que se desarrolla en el epitelio intestinal. Puede reproducirse tanto por vía sexual como asexual en el epitelio del intestino, donde provoca lesiones tisulares. El producto final de la gametogenia es el ovoquiste, que se representa el estadio diagnóstico presente en las muestras fecales.

Las especies de *Cystoisospora* son ubicuas, y los ooquistes pueden encontrarse en las heces de animales clínicamente sanos y de animales enfermos. Tras un periodo de prepatencia de 6-10 días, los ooquistes se liberan con las heces de los animales parasitados y se produce en el medioambiente la esporulación al cabo de 1-4 días, adquiriendo entonces la capacidad infectante. La infección tiene lugar por vía fecal-oral mediante la ingestión de ooquistes esporulados. Por otro lado, varios animales, incluyendo roedores y rumiantes, pueden actuar como hospedadores paraténicos tras la ingestión de los ooquistes.

La coccidiosis cursa con diarreas abundantes de intestino delgado de contenido acuoso y heces líquidas o pastosas que, ocasionalmente, pueden presentar moco o sangre como resultado de la destrucción del epitelio intestinal por la masiva multiplicación del parásito.



Los animales jóvenes también pueden mostrar letargia, pérdida de peso, meteorismo, deshidratación y vómitos. Los signos clínicos pueden proceder a la eliminación de los oquistes, particularmente en las infecciones agudas.

La cystoisosporosis se asocia a la diarrea en cachorros y gatitos. En los casos graves las heces pueden contener sangre y causar elevada morbilidad y mortalidad. Generalmente el cuadro clínico se asocia a coinfecciones con virus, helmintos o bacterias. Los animales presentan más cuadros de diarrea en los periodos de cambio en la dieta (por ejemplo, el inicio de la comida sólida en los cachorros). Como en otras infecciones por coccidios, los episodios de diarrea ocurren previos a la excreción de ooquistes. Tras la reinfección, los animales normalmente liberan pocos ooquistes y no presentan signos clínicos. La inmunidad cruzada entre especies de *Cystoisospora* es poco probable.

Giardiasis

La Giardiasis es una enfermedad parasitaria causada por un protozoo flagelado que infecta una amplia gama de mamíferos incluyendo seres humanos a través de la ingestión de quistes infecciosos. Es una enfermedad entérica de distribución mundial, en México se considera que existen 9 millones de personas con el parásito. Es causada por el protozoo *Giardia duodenalis*, que se localiza en el intestino delgado de distintos hospederos. Este parásito posee dos estadios evolutivos, el trofozoíto (15x10 μm) y el quiste (10x8 μm), que es la forma de resistencia en el medioambiente.

La giardiosis puede presentarse en forma aguda: náuseas, vómitos, diarrea acuosa, dolor abdominal, anorexia marcada, meteorismo, flatulencia. Suele ser autolimitada (3 a 4 días). Sin tratamiento puede evolucionar a una forma subaguda (semanas o meses) o pasar a una forma crónica. En las formas crónicas los síntomas predominantes son malestar abdominal dolor epigástrico difuso sin horario ni relación con las comidas. La diarrea se hace pastosa de mal olor, puede alternar con estreñimiento, hay baja importante de peso. Los síntomas remiten y reaparecen en tiempos variables.

El signo clínico más común en los perros y en los gatos sintomáticos es la diarrea; esta puede ser aguda y de corta duración, intermitente o crónica. Las deposiciones son acólitas, maloliente y esteatorreas con gran cantidad de moco. En perros afectados cursar con anorexia, flatulencia, dolor abdominal, vómito y depresión, con la consecuente pérdida de peso.

La enfermedad puede transmitirse mediante tres mecanismos: a través del agua, mediante alimentos y mediante transmisión fecal oral directa. Se calcula que en México hay 9 millones de personas parasitadas por *Giardia lamblia*, siendo esta protozoosis la causa más común de parasitosis intestinal.



Dipilidiosis

Dipylidium caninum, es un cestode común de perros y gatos y de otras especies de cánidos y félidos silvestres (hospedadores definitivos habituales). El hombre puede comportarse como hospedador definitivo. Afecta especialmente niños. Es una parasitosis de tipo accidental y la infección se denomina dipilidiosis o dipilidiasis.

Los adultos son vermes planos segmentados de pequeñas dimensiones que se alojan en el intestino delgado, que llegan a medir hasta 50 cm. Los proglotis grávidos se fragmentan durante su tránsito intestinal y se eliminan con las heces o migran hasta el ano desde la luz intestinal. La morfología de estos segmentos es similar a la de los granos de arroz, y en su interior albergan huevos agrupados en masas que reciben el nombre de cápsulas ovíferas. Los huevos de los cestodos son esféricos y contienen un embrión hexacanto u oncosfera que posee tres pares de ganchos. La larva se desarrolla en el intestino delgado y de 2 a 3 semanas madurarán a su fase adulta midiendo de 15 a 70 cm de largo por 2 a 3 mm de ancho.

Es uno de los parásitos más frecuente en perros, los adultos parasitan el intestino delgado del hospedador definitivo (perros, gatos, humanos), que se infecta al ingerir las pulgas y, menos frecuentemente, los piojos encontrados entre su pelaje. Los humanos pueden adquirir la infección accidentalmente al ingerir pulgas infectadas, los niños presentan un mayor riesgo de padecer esta zoonosis al mantener un contacto íntimo con perros y gatos de su entorno. La sintomatología suele ser vaga e inespecífica: diarrea, irritabilidad, insomnio, anorexia, pérdida de peso y dolor epigástrico.

Nematodosis

Ascarididosis (Toxocariasis)

La toxocariasis, causada principalmente por *Toxocara canis*, es una de las zoonosis más comunes a nivel mundial; se presenta con mayor frecuencia en niños, asociada a condiciones desfavorables de higiene, hacinamiento, convivencia con perros parasitados, el nivel socioeconómico, la ubicación geográfica y los entornos en los cuales los animales depositan sus heces, lo que se convierte en un gran foco de contaminación para los humanos. *Toxocara canis* ingresa al ser humano por contacto directo con heces de perro o por contaminación de alimentos. *Toxocara cati*: Este parásito es una especie de lombriz intestinal que puede infectar a los gatos y también representar un riesgo zoonótico para los humanos. Las personas se infectan principalmente al ingerir huevos presentes en el suelo contaminado o alimentos contaminados. La infección en humanos puede provocar problemas oculares, hepáticos y pulmonares.

Se han descrito cuatro síndromes de toxocariasis, conocidos como síndrome de toxocariasis encubierta o subclínica, larva migrans visceral (LMV), neurotoxocariasis y



síndrome de larva migrans ocular (LMO). Estos síndromes clínicos representarían una paratenesis en un hospedero no natural como es el humano que genera una respuesta granulomatosa eosinofílica provocada por la migración prolongada de larvas de *Toxocara* por tejidos incluyendo cerebro y ojo.

Toxocara canis pertenece al phylum nematoda; es un nematodo parásito de cuerpo cilíndrico y no segmentado que mide entre 5 y 15 cm. de longitud, es frecuente y casi universal del intestino delgado de caninos, zorros y lobos. La hembra de *Toxocara canis* pone alrededor de 200.000 huevos al día, solo en el intestino delgado del perro, que es el único huésped definitivo. Tanto machos como hembras, desde los 20 días de nacidos hasta 1 año de edad, dispersan huevos.

Las prevalencias más altas se presentan en perros y gatos jóvenes menores a 6 meses de vida. Se necesita más investigación sobre la dinámica de la infección en perros mayores, de modo que se puedan diseñar estrategias de control óptimas. Se han obtenido estimaciones de la intensidad de la infección independientes de la edad para perros adultos que no presentan ningún síntoma clínico y, por lo tanto, No debe subestimarse la importancia epidemiológica de los perros adultos como reservorio de la infección.

Ancilostomatidosis

Es una infestación causada por la presencia y acción de larvas y adultos de *Ancylostoma* en el intestino delgado y otros tejidos de los caninos y del humano. Algunas de las sinonimias que se le conocen son: Ancylostomiasis, clorosis de Egipto, Anemia de los mineros, anemia tropical, Hookworm Disease y Enfermedad del Gusano de los ganchos, uncinariasis.

La ancilostomatidosis es una enfermedad parasitaria causada por nematodos alojados en el intestino delgado de perros y gatos. Los vermes adultos son de pequeño tamaño (1-1.5 cm) y tienen una capsula bucal muy desarrollada. Los machos a diferencia de las hembras, poseen bolsa copuladora en el extremo distal. Los huevos son típicamente strongilados, miden 60-70 x 40-45 μm . y tienen forma elipsoidal, con una cubierta muy fina y 2-8 blastómeros en su interior en el momento de la puesta.

Los que con más frecuencia se enferman son los animales muy jóvenes (cachorros), los factores que favorecen la infección son la malnutrición y depresión inmunológica. La enfermedad clínica entérica, puede presentarse de forma aguda y crónica y se asocia de manera secundaria con agentes virales y bacterianos, etc. Los signos clínicos registrados con más frecuencia para la enfermedad clínica entérica, además de anemia intensa, son diarrea con sangre y baja de peso, en las infecciones masivas e intensas se ha observado pérdidas importantes de sangre, y los animales, incluso pueden morir.



En relación con la enfermedad por migración pulmonar de larvas de *Ancylostoma*, estas llegan a producir, descargas nasales, fiebre y neumonía. En relación con la parasitosis en humanos por migración larval de *Ancylostoma*, en estos se ha descrito por diversos estudios; eritema multiforme, foliculitis, miositis localizada, neumonitis eosinofílica, manifestaciones oftalmológicas y principalmente *Larva Migrans* cutánea, llamada también erupción o eritema reptante, es una dermatosis aguda producida principalmente por *A. caninum* y *A. braziliense* del perro y gato.

Factores de riesgo para la infección de enteroparásitos de perros y gatos

La transmisión de los enteroparásitos en caninos y felinos está asociada a diversos factores de riesgo. Entre ellos se incluyen la falta de medidas de higiene adecuadas, el acceso a agua y alimentos contaminados, el contacto con otros animales infectados y la presencia de vectores como pulgas y garrapatas. Además, las condiciones ambientales también pueden desempeñar un papel importante en la supervivencia y propagación de estos parásitos.

Métodos de diagnóstico de enteroparásitos en perros y gatos

Existen varios métodos utilizados para el diagnóstico de enteroparásitos en caninos y felinos. Los más comunes incluyen el examen coproparasitológico directo, la flotación en solución saturada de sacarosa y la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para la identificación molecular de los parásitos. Cada método tiene sus ventajas y limitaciones, y la elección del método adecuado depende de varios factores, como la disponibilidad de recursos y la sensibilidad y especificidad del método.

En la práctica de la consulta diaria de la medicina veterinaria, se utilizan varios métodos de diagnóstico clínico, para detectar enteroparásitos en perros y gatos. En México, los métodos de diagnóstico clínico utilizados en la detección de parásitos gastroentéricos en perros y gatos en la práctica diaria han experimentado avances significativos en los últimos años.

Sin embargo, la situación actual varía dependiendo de diversos factores, como la ubicación geográfica, el nivel de atención veterinaria y los recursos disponibles. Es importante destacar que la disponibilidad y el uso de métodos diagnósticos específicos pueden variar en diferentes regiones de México. En algunas áreas urbanas o clínicas veterinarias bien equipadas, es más probable encontrar una amplia gama de métodos de diagnóstico disponibles y utilizados en la detección de parásitos gastroentéricos. Sin embargo, en áreas rurales o clínicas con recursos limitados, es posible que los métodos diagnósticos más accesibles sean los tradicionales, como el examen coproparasitológico.



En cuanto a la capacitación y educación veterinaria en el uso de métodos de diagnóstico, se están realizando esfuerzos para mejorar el conocimiento y la aplicación de técnicas más avanzadas. Se promueve la formación continua y la actualización en el diagnóstico de parásitos gastroentéricos a través de congresos, cursos y material educativo.

Se debe aclarar que en el contexto de la detección de parásitos gastroentéricos en perros y gatos, el examen coprológico y el estudio coproparasitológico son dos términos que a menudo se utilizan indistintamente para referirse al análisis de las heces de los animales en busca de parásitos o sus estructuras (huevos, quistes, larvas, etc.). Sin embargo, existe una diferencia sutil entre ambos conceptos.

El examen coprológico se refiere a un análisis macroscópico y visual de las heces del animal. Se realiza una inspección cuidadosa de las características físicas de las heces, como su color, consistencia, presencia de sangre o moco, entre otros. Mientras que el examen coprológico también puede implicar la identificación de segmentos de parásitos adultos, como las tenias, que pueden ser visibles a simple vista. Sin embargo, este tipo de examen tiene limitaciones en la detección de parásitos en etapas tempranas o en formas inmaduras.

Por otro lado, el estudio coproparasitológico implica un análisis microscópico de las heces para detectar e identificar estructuras parasitarias, como huevos, quistes, larvas o adultos inmaduros, así como jabones, grasas, fibra vegetal o animal. En este caso, se utilizan técnicas específicas, como la flotación fecal, la técnica de sedimentación o el examen directo, para concentrar y observar estos elementos microscópicos. El estudio coproparasitológico es más sensible en la detección de parásitos en diversas etapas de desarrollo y permite identificar una mayor variedad de especies parasitarias.

Examen coprológico directo

Este método implica la observación directa de las heces sin ningún tratamiento previo, para detectar la presencia de parásitos adultos, proglótidos o larvas. Aunque es un método rápido y económico, su sensibilidad puede variar dependiendo del tipo de parásito presente en las muestras. Con esta técnica se evalúan las características propias de las heces como su consistencia, color, olor, la ausencia de sangre, moco y grasa.

El frotis fecal húmedo (FFH)

Este procedimiento implica tomar una muestra fecal fresca y colocar una pequeña cantidad en un portaobjetos de microscopio. Luego, se agrega una solución salina para humedecer la muestra y permitir la visualización de los parásitos. Mediante el FFH, en el laboratorio se puede identificar la presencia de quistes de *Giardia*, siendo una herramienta de gran utilidad. Los quistes de *Giardia* son la forma resistente que este



protozoo adquiere en el medio ambiente y son liberados en las heces de los individuos infectados. Estos quistes pueden ser difíciles de detectar en muestras fecales debido a su tamaño y a su apariencia similar a las burbujas de aire. Sin embargo, algunos parásitos pueden ser difíciles de identificar de manera directa debido a su tamaño o a la necesidad de técnicas adicionales de concentración de la muestra.

Flotación fecal

Las técnicas de flotación se basan en el uso de soluciones con una densidad mayor que los huevos o quistes de los parásitos presentes en la muestra fecal, lo que permite separarlos de la misma. Estas soluciones tienen una densidad específica que permite que los huevos floten mientras que la materia fecal se hunde. Este enfoque mejora la sensibilidad en comparación con el examen coproparasitológico directo y es capaz de detectar una amplia variedad de parásitos. Al utilizar estas técnicas, se logra una concentración de los huevos o quistes en la capa flotante, lo que facilita su identificación y recuento al observar el portaobjetos al microscopio.

Esta técnica se puede utilizar con tinciones, siendo la más utilizada el yodo Lugol al 5%. Esta tinción puede resaltar los blastómeros y estructuras internas de los huevos y quistes de algunos parásitos, lo que facilita su identificación. Otra tinción comúnmente utilizada es la tinción de Ziehl-Neelsen, que se emplea principalmente en la detección del género *Cryptosporidium* y algunas especies de coccidias. Esta tinción utiliza una solución de fuscina básica que tiñe específicamente los parásitos, permitiendo su identificación al microscopio.

El uso de tinciones en combinación con las técnicas de flotación puede mejorar la sensibilidad y la especificidad del diagnóstico parasitológico. La utilidad de las tinciones en las técnicas de flotación de heces radica en su capacidad para mejorar la visibilidad de los parásitos y sus estructuras. Esto es especialmente relevante en casos donde los parásitos son pequeños, transparentes o presentan características morfológicas similares, lo que facilita su identificación y ayuda a diferenciar entre especies.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que no todas las técnicas de flotación de heces requieren el uso de tinciones, y su aplicación dependerá de la especie de parásito que se sospeche y de los recursos disponibles en el laboratorio veterinario. Estudios recientes han comparado diferentes técnicas comunes de flotación fecal utilizadas en el diagnóstico de huevos y ooquistes de parásitos. Se han comparado varias técnicas de flotación fecal, incluyendo la técnica de flotación simple, la técnica de flotación centrifugada y la técnica de flotación con solución saturada de sacarosa. Evaluando la eficacia de cada técnica en la recuperación de huevos y ooquistes de diferentes helmintos gastrointestinales en perros y gatos.



Los resultados han mostrado diferencias significativas en la sensibilidad y eficacia de las diferentes técnicas de flotación fecal. encontrándose que la técnica de flotación con solución saturada de sacarosa tiene la mayor sensibilidad y capacidad de recuperación de huevos y ooquistes de parásitos, seguida de la técnica de flotación centrifugada. La técnica de flotación simple fue la menos efectiva en la recuperación de parásitos.

Estos hallazgos son importantes para los profesionales de la medicina veterinaria, ya que destacan la importancia de utilizar técnicas de flotación fecal más sensibles y eficientes en el diagnóstico de parásitos gastrointestinales en perros y gatos. Esto permite una detección más precisa y confiable de los parásitos presentes en las heces de los animales, lo que a su vez contribuye a un tratamiento adecuado y al control de las infecciones parasitarias.

Técnica de sedimentación

Esta técnica implica la adición de una solución especial a las heces para que los huevos o quistes de los parásitos se sedimenten en el fondo del tubo de ensayo. Luego, se realiza una observación microscópica del sedimento para detectar los parásitos. La técnica de sedimentación puede mejorar la sensibilidad y detectar parásitos que podrían no ser visibles en otros métodos. Uno de los principales beneficios de la técnica de sedimentación es su capacidad para concentrar los parásitos y sus estructuras (como huevos de gran tamaño, quistes o larvas).

Pruebas serológicas

Algunos parásitos, como *Giardia* y *Toxoplasma*, pueden ser detectados mediante pruebas serológicas que buscan la presencia de anticuerpos en la sangre del animal. Estas pruebas son útiles para evaluar la exposición previa a los parásitos, pero no siempre indican una infección activa en el momento del muestreo.

Las pruebas serológicas, como la ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), se utiliza en la detección de ciertos parásitos, como *Giardia* y *Toxoplasma*. Estas pruebas buscan la presencia de anticuerpos en la sangre del animal y pueden indicar la exposición previa a los parásitos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas pruebas no siempre indican una infección activa en el momento del muestreo.

Biología molecular

Por otro lado, en México, tanto la Reacción en cadena de la Polimerasa (PCR), como las pruebas inmunológicas son métodos utilizados en el diagnóstico clínico de enteroparásitos en perros y gatos. La PCR es altamente sensible en la detección de material genético de los enteroparásitos en muestras fecales. Puede detectar incluso



bajos niveles de ADN o ARN parasitario, lo que permite una detección temprana y precisa de los parásitos.

La PCR también es altamente específica, ya que se basa en la amplificación de secuencias de ADN o ARN específicas del parásito objetivo. Esto ayuda a evitar falsos positivos y asegura la identificación precisa de los parásitos presentes. La PCR es una herramienta muy útil en el diagnóstico clínico, especialmente cuando se necesitan identificar especies específicas de parásitos o cuando la carga parasitaria es baja. Además, puede ayudar en la identificación de parásitos que pueden ser difíciles de detectar mediante otros métodos. En México, la PCR está disponible en laboratorios especializados en diagnóstico molecular. Aunque puede tener un costo más elevado y requerir equipamiento especializado, su disponibilidad ha ido en aumento en los últimos años.

Pruebas inmunológicas

Como los ensayos de ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), son sensibles en la detección de antígenos o anticuerpos específicos de los enteroparásitos. Sin embargo, la sensibilidad puede variar dependiendo de la prueba y el parásito objetivo.

Las pruebas inmunológicas también son específicas, ya que se basan en la interacción entre los antígenos del parásito y los anticuerpos o en la detección de anticuerpos producidos por el hospedador en respuesta a la infección. Esto ayuda a evitar falsos positivos y asegura la detección precisa de los parásitos.

Las pruebas inmunológicas son ampliamente utilizadas en la práctica clínica debido a su facilidad de uso y resultados rápidos. Son útiles en el diagnóstico de infecciones parasitarias activas y en el monitoreo de la respuesta inmunológica del hospedador.

Las pruebas inmunológicas están ampliamente disponibles en clínicas veterinarias y laboratorios de diagnóstico. Son métodos de diagnóstico rápidos y relativamente económicos, lo que contribuye a su amplia utilización en la práctica diaria.

Métodos de cultivo de parásitos

El autor describe diversos métodos utilizados para el cultivo de parásitos, incluyendo el cultivo in vivo en animales de laboratorio, el cultivo in vitro en medios de cultivo líquidos y sólidos, y el cultivo en sistemas celulares. Se discuten las ventajas y desventajas de cada método, así como las condiciones y requerimientos específicos para el cultivo exitoso de diferentes tipos de parásitos.



El cultivo de parásitos es de suma importancia tanto en la investigación científica como en el ámbito médico, ya que es una valiosa herramienta para estudiar diversos aspectos del ciclo de vida de los parásitos, su respuesta a fármacos antiparasitarios y su interacción con el sistema inmunológico del hospedador.

Aunque cuenta con muchos desafíos y limitaciones del cultivo de parásitos, que incluye la dificultad de establecer y mantener líneas celulares o sistemas de cultivo adecuados, la necesidad de condiciones específicas para el crecimiento de diferentes parásitos y la dificultad de mantener la virulencia y las características biológicas de los parásitos en el cultivo.

Dentro de sus aplicaciones clínicas y futuras direcciones se encuentra la producción de antígenos para pruebas de diagnóstico y la evaluación de fármacos antiparasitarios y la aplicación de la ingeniería genética para comprender mejor la biología de los parásitos.

Así también debe de tenerse en cuenta que la sensibilidad y especificidad de los métodos de diagnóstico pueden variar según el tipo de parásito y la calidad de las muestras analizadas. La sensibilidad se refiere a la capacidad de un método para detectar la presencia de un parásito cuando está presente, mientras que la especificidad se refiere a la capacidad de un método para identificar correctamente la ausencia de un parásito. Estos valores pueden variar y es necesario considerar otros factores, como la experiencia del técnico de laboratorio y la calidad de las muestras recolectadas.

Prevalencia de enteroparásitos en caninos y felinos

La prevalencia de enteroparásitos en caninos y felinos varía según la región geográfica y las condiciones de vida de los animales. En México, existen diversos estudios que han evaluado la prevalencia de parásitos intestinales en caninos y felinos. Los resultados revelaron una alta prevalencia de parásitos, tales como *Eimeria*, *Giardia lamblia*, *Taenia sp* y *Toxocara cati*.

Por otro lado, en una investigación realizadas en perros en Latinoamérica, se han encontrado parásitos similares a los identificados en México en perros, como *Eimeria*, *Taenia sp*, *Giardia lamblia*, *Ancylostoma*, *Dipylidium caninum*, *Ascaris lumbricoides* y *Trichuris vulpis*. Asimismo, un estudio llevado en España en perros y gatos se identificaron parásitos como *Eimeria*, *Taenia sp*, *Giardia lamblia*, *Ancylostoma*, *Ascaris lumbricoides*, *Cryptosporidia*, *Toxocara canis* y *Trichuris vulpis*.

Conclusiones

Estas investigaciones confirman que la alta prevalencia de enteroparásitos en perros y gatos es un fenómeno frecuente en diferentes regiones. Estos resultados subrayan la importancia de implementar medidas de diagnóstico clínico oportuno y frecuente, así



como de adoptar estrategias adecuadas de control y prevención, como la desparasitación regular y el mantenimiento de una adecuada higiene ambiental. Estas acciones son fundamentales para reducir la carga parasitaria en las mascotas y prevenir la transmisión de parásitos a otros animales y a los seres humanos.

Referencias

- Clavijo, O. B., Piñeros, G. M. (2016). Diseño factorial de efectos fijos 4X2 para evaluar la medición de alcalinidad total, estudio de caso. Fundación Universitaria Los Libertadores Departamento de Ciencias Básicas Especialización. <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/679>
- Correa, M. (2014). Fauna parasitaria gastrointestinal en perros de criaderos en la región metropolitana de Santiago, Chile. Marzo 2019, de universidad de chile facultad de ciencias veterinarias y pecuarias escuela de ciencias veterinarias Sitio web: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/143088/Fauna-parasitaria-gastrointestinal-en-perros-de-criaderos-en-la-Region-Metropolitana-de-Santiago-Chile.pdf?sequence=1&disAllowed=y>
- Dado, D., Izquierdo, F., Vera, O., Montoya, A., Mateo, M., Fenoy, S., Galván, A. L. (2017). Detection of zoonotic intestinal parasites in public parks of Spain. *Potential epidemiological*. 59(1), 23-28. doi:10.1111/j.1863-2378.2011.01411.x
- Dryden, M. W., Payne, P. A., Ridley, R., Smith, V., Broce, A. B. (2005). Comparison of common fecal flotation techniques for the recovery of parasite eggs and oocysts. *Veterinary therapeutics*, 6(1), 15-28. <http://vetlab.com/Dryden%20Comparison%20of%20Flotation%20Methods.pdf>
- European Scientific Counsel Companion Animal Parasites "ESCCAP". (2021). *Control de vermes en perros y gatos*. Guía No.1. Sexta edición. Sitio web: escap.org/uploads/docs/rd0dkerp_1272_ESCCAP_GL1__Spanish_v2_1p.pdf
- Garibotti, G. (2017). Tenencia responsable de perros y salud humana en barrios de San Carlos de Bariloche, Argentina. *Medicina (Buenos Aires)*, 77(4), 309-313. <https://www.medicinabuenosaires.com/volumen-77-ano-2017/volumen-77-ano-2017-no-4-indice/tenencia-responsable-de-perros-y-salud-humana-en-barrios-de-san-carlos-de-bariloche-argentina/>
- García, L. S., Bruckner, D. A. (2012). *Diagnostic medical parasitology*. ASM Press. ISBN:9781683674085 |DOI:10.1128/9781555816018



- Gómez, L. F. (2007). La influencia de las mascotas en la vida humana. , Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de file:///C:/Users/ACER/Downloads/Dialnet-LaInfluenciaDeLas MascotasEnLaVida Humana-3238619.pdf.
- Gómez. E., Arroyo, M. (2017). Helmintos y microbiota: la comunidad del anillo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. Facultad de Farmacia de la UCM. Madrid, España. 11(1), 241-246. ISSN 1988-2688
- Hugues, H., Beatriz, Á. A., Castelo E.C, Lizet, L., Mendoza, L., T, Domínguez, M., A, Emma. (2014). Percepción de los beneficios de la tenencia de animales de compañía en tres grupos poblacionales de la Habana, cuba. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 25(3), 355-365. Recuperado en 17 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172014000300003&lng=es&tlng=es.
- Jaffry, K. T., Ali S., Rasool A., Raza A., Gill Z. J. (2009). *Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Segunda Edición. México D. F, México: Thomson – Learning.
- Madrid, V.. Fernández, I. Torrejon, E. (2012). Manual de parasitología humana. Universidad de concepción. Facultad de ciencias biológicas. Departamento de microbiología. Chile. http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/880/2/Manual_Parasitologia_Image_Marked.pdf
- Mondo, E., Marliani, G., Attilio, P., Cocchi, M., Di Leon, A. (2019). Role of gut microbiota in dog and cat's health and diseases. *Open Veterinary Journal*, 9(3), 253. doi:10.4314/ovj.v9i3.10
- Monsalve, B., Mattar, S., González. M. (2009). Zoonosis transmitidas por animales silvestres y su impacto en las enfermedades emergentes y reemergentes. *Revista MVZ Cordoba*, 14(2), 17621773. ISSN 0122-0268 On-line version ISSN 1909-0544
- Schnyder, M., Deplazes, P. (2012). Cross-reactions of sera from dogs infected with *Angiostrongylus vasorum* in commercially available *Dirofilaria immitis* test kits. *Parasitology research*, 111(1), 125-133. doi:10.1186/1756-3305-5-258



Vélez, L., Reyes, K., Rojas, D., Calderon M., Cruz, J., Arcos, J. (2014). Riesgo potencial de parásitos zoonóticos presentes en heces caninas en Puerto Escondido, Oaxaca. *Salud pública de México*. 56(6), 625-630.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342014000600012&lng=es&nrm=iso. ISSN 0036-3634



Evaluación del bienestar animal durante el entrenamiento de caninos

Blayra Maldonado Cabrera¹, Guadalupe López Robles¹, Ramón Robles Zepeda¹, Manuel Nieblas López¹, Reyna Osuna Chávez¹, Víctor Alcaraz Serrano^{1*}

¹Universidad de Sonora. Carretera a Bahía de Kino km. 21.5, Hermosillo, Sonora, México. Teléfonos: (662) 454-8401 y (662) 454-8402. blayra.maldonado@unison.mx, guadalupe.lopez@unison.mx, robles.zepeda@unison.mx, manuel.nieblas@unison.mx, reyna.osuna@unison.mx, a218206557@unison.mx*

Introducción

El bienestar animal es un estado dinámico regido por el funcionamiento del organismo y el estado mental del animal, y la relación que tiene con el entorno; se puede definir como un estado de completa salud física y mental, donde el animal está en armonía con el ambiente que lo rodea. Para garantizar el bienestar animal se debe asegurar el acceso a las cinco libertades indicadas por el Consejo de Bienestar para Animales de Granja, el animal debe estar libre de hambre, de sed y de malnutrición, libre de estrés físico y térmico, libre de miedo y angustia, libre de dolor, lesión y/o enfermedad, y libre para manifestar patrones normales de conducta.

¿Cómo puedo medir el bienestar animal?

El bienestar animal se puede medir al evaluar cómo el animal enfrenta el ambiente donde se encuentra, esta respuesta puede ir de pobre a buena. La medición debe ser objetiva, y una vez terminada, se recomienda considerar las condiciones éticas para el mejoramiento de la calidad de vida del animal. Así mismo, puede evaluarse por individuo y/o por grupo de animales, y por intervalo de un tiempo determinado. Se sugiere tener en cuenta indicadores fisiológicos y de comportamiento, siguiendo los principios de bienestar animal y las cinco libertades, también, se deben describir las enfermedades, lesiones, interacciones sociales, medidas de comportamiento, manejo y condiciones de alojamiento como efectos influyentes en el bienestar animal. Se han propuesto diferentes métodos para evaluar el bienestar animal, cómo las pruebas de evasión y preferencia positiva, la medición de la capacidad para tener un comportamiento normal, y otras funciones biológicas e indicadores directos de bienestar bueno o pobre. Otros autores mencionan que se puede cuantificar el bienestar en función de indicadores directos e indirectos, siendo los directos los que se basan en el animal, componentes fisiológicos y de comportamiento, y los indirectos los que se cimientan en los recursos del animal, como el acceso a alimento y agua, el ambiente y atención sanitaria. En este trabajo se utilizó la metodología de Castillo, et al. (2012), con ligeras modificaciones, mismas que consisten en la evaluación de los componentes animal y humano, para estimar el bienestar animal de perros en proceso de entrenamiento.



Historia del Bienestar Animal

El concepto de bienestar animal (BA) tiene orígenes en Europa en la década de los sesenta. El gobierno británico estableció el Comité Brambell, quienes presentaron el BA como un término que engloba la salud física y mental. El comité declaró que para mejorar el bienestar animal era necesario comprender la biología de los animales y sus necesidades, por lo que se recomendó la investigación en medicina, psicología del estrés, ciencia animal y comportamiento para la continua evolución del BA. En las siguientes décadas se añadió el ambiente del animal como componente mismo del bienestar, tomando en cuenta sus características y la relación del animal con el entorno.

En la actualidad se reconocen varios marcos conceptuales del BA de acuerdo con lo establecido por Grandin (2021), donde menciona cinco: los cuatro principios de David Fraser, las cinco libertades de FAWC (Farm Animal Welfare Council), el sistema de bienestar de Welfare Quality Network, los cinco dominios de Mellor y los dos factores de Dawkins. Los cuatro principios de David Fraser mencionan el mantenimiento de la salud básica, está engloba alimento, atención médica y un ambiente de calidad; reducción de dolor y estrés, que refiere a cuidados preventivos y uso de medicamentos; así como ajustar a su ambiente los comportamientos naturales y el estado afectivo; así mismo, menciona los elementos naturales en el ambiente, señalando la importancia de acceso a luz natural y vida exterior. El sistema de bienestar de calidad y los cinco dominios de Mellor son similares, ambos señalan como factores a considerar: la alimentación, la salud, el ambiente y el comportamiento, Mellor agrega la experiencia afectiva como un factor más, haciendo referencia al estado mental del animal. Los dos factores de Dawkins definen el bienestar animal como salud animal y lo que el animal necesita, dejando un concepto más general. Por último, las cinco libertades para el bienestar animal, reconocidas y aceptadas por la OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal, por sus siglas en inglés) y el FAWC como las guías para la evaluación animal, las libertades son: libre de hambre, libre de sed y malnutrición, libre de estrés físico y térmico, libre de dolor, libre de lesiones y/o enfermedad, libre de expresar comportamiento normal, libre de miedo y estrés.

Los marcos conceptuales del bienestar animal se pueden resumir en tres categorías o dominios: salud y funcionamiento biológico, estado afectivo (estado mental y emociones) y vida natural, mismos que se describen a continuación: La salud y el funcionamiento biológico se ven afectados por las dificultades del medio, esta categoría tiene como razón fundamental que los problemas en el bienestar son generados por la inhabilidad o dificultad de adaptación, engloba problemas causados por enfermedades o selección genética, al igual que lesiones y anomalías causadas por condiciones de alojamiento. El estado de salud del animal es afectado por su actividad biológica, siendo esta defensa inmunológica, respuesta psicológica al estrés y comportamiento. La cantidad y



continuidad de los retos de adaptación tienen consecuencias como problemas del desarrollo y reproductivos, la respuesta a estos retos se refleja en la salud y el funcionamiento biológico del animal. El estado afectivo hace referencia a lo que el animal siente, pueden ser emociones positivas o negativas, es más probable tener un buen bienestar cuando el animal tiene más experiencias positivas y un bienestar pobre cuando existen más experiencias negativas; el dolor, el estrés y las preferencias del animal son incluidos en esta categoría. Respecto a la Vida natural, aquí se puede aplicar uno de los factores de Dawkins “lo que el animal quiere”, para lograr el bienestar en esta categoría se debe tener en cuenta las necesidades y comportamientos de la especie, incluye los aspectos de alojamiento donde el animal pueda expresar comportamiento de manera natural, sin embargo, se necesitan definir cuáles comportamientos son positivos o negativos para el bienestar.

El BA es más que solo la salud física, se considera un concepto integral aceptado por la comunidad científica, el BA lo definen como “la capacidad de un animal de afrontar fisiológica, conductual, cognitiva y emocionalmente con su entorno físico - químico y de vida social, incluyendo la experiencia subjetiva del animal de su condición”. La evaluación del BA es a partir de dos puntos de vista, salud física y fisiológica, así como el estado mental al enfrentarse a su ambiente. Actualmente para una evaluación completa se deben medir ambos puntos de vista, y también medir los elementos negativos y positivos, ya que el bienestar es determinado por el balance entre estos. Debido a la complejidad de la medición del bienestar animal, se han desarrollado diferentes enfoques para su evaluación, existe confusión entre los expertos sobre qué elementos se deben evaluar: físicos, fisiológicos, bioquímicos, conductuales y sobre el valor de cada uno.

La mayoría de los métodos y protocolos para la evaluación del bienestar animal se enfocan en dos medidas, la salud física y fisiológica, así como el comportamiento, además de estas dos, se propone un tercer elemento: las medidas cognitivas. Las medidas fisiológicas incluyen respuestas a corto plazo como, ritmo cardíaco y su variabilidad, temperatura corporal, adrenalina, corticosteroides, y la función inmunológica a largo plazo; también, se ha evaluado la oxitocina como un indicador no invasivo de emoción positiva en perros, pero se necesita más investigación al respecto para entender su relación con el estado emocional del animal, para poder ser aceptado como un indicador. De igual manera, para evaluar el comportamiento se determina la presencia de conductas relacionadas al miedo y ansiedad, comportamiento anormal, nivel de actividad y de descanso, y el comportamiento de juego; la evaluación de las respuestas conductuales revela la capacidad del animal para adaptarse a su medio, se debe evaluar el lenguaje corporal ya que es la expresión del animal, la postura y el movimiento del cuerpo como indicativos de su estado.



Por último, se tiene la evaluación de las medidas cognitivas, se menciona el sesgo cognitivo, las decisiones que toma el animal basado en experiencias pasadas, y la capacidad de aprender, siendo esta última más relevante en perros. Existen diferentes protocolos y métodos para evaluar el BA, la mayoría son dirigidos a animales en cautiverio, por ejemplo el Shelter Quality Protocol (en español, Protocolo de Calidad de Refugio), evalúa los procesos de manejo, el ambiente y características del animal, se le asigna un puntaje a cada característica y se categoriza por niveles; el refugio en general, donde se califica morbilidad y mortalidad, al igual que el estado emocional; por unidad del refugio, se considera evaluar las características del ambiente del perro como el espacio, la cama, el acceso a agua, temperatura y evidencia de comportamiento anormal y/o dolor; por último se maneja a nivel individuo, donde se observa la condición corporal, respuesta ante humanos, limpieza del animal, y el estado de salud.

Se ha desarrollado una herramienta para evaluar la calidad de vida de perros en jaulas, se utilizó un sistema binario para minimizar la subjetividad en el puntaje y se evaluaron los elementos positivos y negativos de la calidad de vida. Los protocolos o herramientas que usan para evaluar características ambientales del bienestar animal son útiles, pero sólo representan el potencial de tener un buen bienestar, por lo que se necesitan herramientas que evalúen también el estado del animal, sus características físicas, fisiológicas, cognitivas y conductuales. Uno de los elementos más indicativos del bienestar animal es el comportamiento y la adaptación frente a diferentes retos, se han desarrollado cuestionarios que ayudan a evaluar el comportamiento de un perro, por ejemplo el Canine Behavioral Assessment and Research Questionnaire (Cuestionario de investigación y evaluación del comportamiento canino, C-BARQ(S), por sus siglas en inglés), este cuestionario consta de 14 sub-escalas y 22 elementos diversos adicionales, a estos se les asigna un puntaje de gravedad o frecuencia, el cuestionario está estandarizado y se utiliza para recolectar información válida sobre el comportamiento de los perros. La falta de control sobre las interacciones con el ambiente y la dificultad para adaptarse son indicativos de un bienestar animal pobre. Para usar animales de trabajo en un ambiente humano, es necesario considerar las habilidades de un animal para adaptarse. El cuidado del bienestar animal debe ser una prioridad, considerando todos los puntos que se mencionaron anteriormente. Los entrenadores de perros deben hacer seguimiento ante los cambios de comportamiento del animal, estos cambios pueden ocurrir por diferentes variables como dolor, estrés, dinámica social, y representan un problema para el bienestar del animal.

Perros como herramientas de detección

Los perros son capaces de identificar moléculas, incluso en pequeñas concentraciones, la sensibilidad del olfato canino se ha utilizado como herramienta de detección en áreas médicas, científicas, policíacas, militares y sociales. Se ha sugerido que los perros tienen



un sentido del olfato muy agudo debido a su estructura anatómica, el receso olfativo determina la superioridad olfativa en comparación con otros animales. Durante la inhalación se desarrolla un patrón de flujo de aire nasal que está optimizado para el transporte de olores a la parte olfativa de la nariz. Su habilidad olfatoria es superior a la de los humanos, el epitelio olfatorio de los perros puede ser de 18 a 150 cm², con 300 millones de receptores de olor, mientras que el de los humanos es de 3 cm², con 5 a 6 millones de receptores.

Las diferencias de razas o características individuales de los perros han sido estudiadas, estas diferencias en rasgos sensoriales y morfológicos pueden influenciar en el desempeño. Un estudio demostró que los rasgos raciales no presentan diferencias significativas en el desempeño olfativo de un perro, al comparar un Pastor Belga, un Malamute con Husky y un Pit bull. Otro estudio reportó que los Pastor Belga, Pastor Alemán y Labrador Retriever son más usados en estas prácticas, debido a sus rasgos morfológicos y su habilidad para entrenar. Las diferencias en el desempeño pueden estar relacionadas al comportamiento de cada individuo. Varios estudios han demostrado la habilidad y agudeza del olfato canino para detectar personas con enfermedades infecciosas y no infecciosas, como diferentes tipos de cáncer, diabetes, cirrosis, malaria, infecciones virales y bacterianas, con alta sensibilidad y especificidad. Existe evidencia de que el perro es capaz de detectar componentes orgánicos volátiles (COV's) provenientes de las áreas afectadas de la piel del paciente. Los COV's son químicos con alta presión de vapor a temperatura ambiente, lo cual provoca la evaporación de las moléculas de aire que rodea la fuente, se han asociado a personas con varias enfermedades cardiacas, renales, intestinales, pulmonares, metabólicas, entre otras. Los COV's relacionados a enfermedades pueden encontrarse en secreciones como la sangre, heces, piel, aliento, sudor, orina y secreciones vaginales de las personas infectadas. Los perros identifican con su olfato estos componentes generados durante la infección, a partir de muestras y/o directamente de las personas infectadas. Algunos estudios, han reportado que los resultados de pruebas diagnósticas con perros, en ocasiones han demostrado ser superiores a la prueba estándar para diagnósticos como PCR, SARS-CoV 2 y Caninos Entrenados.

Debido a la habilidad de rápido entendimiento y facilidad de entrenamiento, se ha estudiado la capacidad de los perros para diferenciar entre muestras de personas infectadas con SARS-CoV 2 y controles no infectados, de una manera confiable y en tiempo real. Se han tenido resultados satisfactorios, con una tasa de promedio de 94%, con alta especificidad y sensibilidad.

La enfermedad por coronavirus emergió a finales de 2019 en Wuhan, China. Nombrada por la Organización Mundial de la Salud como COVID-19, se trata de un síndrome respiratorio agudo por Coronavirus tipo 2 (SARS-CoV 2, por sus siglas en inglés). El



SARS-CoV 2, está estructuralmente relacionado a los virus que causan síndrome respiratorio agudo severo, además es similar al coronavirus RaTG13, que fue detectado en murciélagos, sin embargo, no existe evidencia de transmisión de RaTG13 a otros animales o a humanos. La mayoría de las personas desarrollan una enfermedad respiratoria leve o moderada y se pueden recuperar sin hospitalización, los síntomas más comunes son: fiebre, tos y cansancio; así mismo, los síntomas menos comunes son: dolor de garganta, dolor de pecho, diarrea, conjuntivitis, dolor de cabeza, pérdida del sentido del olfato y gusto, prurito o decoloración en dedos de manos y pies. La presentación severa causa dificultad respiratoria, presión y dolor en pecho, y pérdida de movimiento. La enfermedad se transmite por medio de gotas de saliva o exudado nasal, debido a su rápida propagación, se iniciaron investigaciones para ayudar a la detección de la infección y poder controlarla.

Estudios de susceptibilidad El departamento de Agricultura, Pescadería y Conservación de Hong Kong (AFCD) se encargó de recolectar a los animales de compañía de personas diagnosticados con COVID-19 para determinar si estaban infectados con SARS-CoV 2, aislarlos y asistirlos. El departamento AFCD recolectó quince perros de lugares con casos de personas positivas con COVID-19, los resguardaron en cuarentena y tomaron muestras para pruebas de detección de RNA SARS-CoV 2 por RT-qPCR, de esta muestra, dos perros obtuvieron resultados positivos, demostrando así, que estaban infectados. El primer perro fue un pomerania de 17 años con enfermedades preexistentes, la primera semana de aislamiento se tomaron hisopados nasales siendo este positivo. Las pruebas con muestras fecales dieron resultados negativos. Ocho días después, los hisopados nasales dieron resultados negativos y el perro regresó con su dueño. El segundo perro era un pastor alemán de 2 años y medio con buena condición de salud. Se tomaron muestras seis veces en el transcurso de dos semanas, las primeras dos veces el hisopado nasal dio resultados positivos a SARS-CoV 2, los hisopados rectales también obtuvieron resultados positivos, pero con una carga viral menor en comparación a los hisopados nasales. En otros estudios realizados por Shi, et al. (2020), investigaron la susceptibilidad de SARS-CoV 2 en animales de compañía y de laboratorio, evaluando la replicación y transmisión del virus en perros; para esto, realizaron un ensayo clínico, donde cinco beagles de 3 meses de edad fueron inoculados y alojados con otros dos beagles sin inocular en un cuarto, los investigadores reportaron RNA viral en los hisopados rectales de dos perros inoculados al segundo día, se realizó eutanasia a uno de los perros y no se encontró RNA viral en ninguno de los órganos. No se detectó virus infeccioso en ninguno de los hisopados. Además, se recolectó suero de todos los perros catorce días después de la inoculación para detección por ELISA y solamente reportaron seroconversión en dos de los perros inoculados; los otros perros fueron seronegativos. Con estos hallazgos se demostró que los perros tienen baja susceptibilidad a SARS-CoV 2. Hasta el momento, no se ha encontrado evidencia sobre la transmisión de perro a perro



en otros estudios, y tampoco se ha reportado manifestación clínica en los perros que dieron resultados positivos a SARS-CoV 2. La salud de los animales de trabajo debe ser resguardada, ya que la presencia de enfermedad resulta en un bienestar pobre, por lo que es importante la determinación de la susceptibilidad de los perros a SARS-CoV 2. La evidencia de baja susceptibilidad y ausencia de signos clínicos permite su uso en programas de entrenamiento para la detección de muestras de esta enfermedad.

Métodos de evaluación del bienestar animal

La evaluación del bienestar animal por observación directa en visitas de seguimiento se ha validado en varios estudios, se ha puesto a prueba con diferentes métodos y se han encontrado altos niveles de concordancia, por lo que se puede indicar que la observación es un método con alta confiabilidad y viabilidad; Mariti, et al. (2015), realizaron la evaluación del BA en clínicas veterinarias por medio de observación directa, utilizando videos y encuestas con los empleados y propietarios; además, Berteselli, et al. (2019), aplicaron la evaluación de bienestar animal en diferentes refugios, usando el protocolo Shelter Quality, utilizando inter-observadores y visitando en dos diferentes temporadas, todo esto, para validar el método de evaluación y la sensibilidad de los indicadores. La evaluación del BA que se realizó en este estudio fue a través de datos por observación directa, logrando identificar elementos positivos y negativos que ayudaron a establecerlos en categorías.

Existen diferentes enfoques para la recolección de información para la evaluación del bienestar animal; señalan que las instituciones necesitan una herramienta rápida, práctica y fácil de usar para la evaluación del bienestar, usando parámetros basados en animales y en variables ambientales, esta herramienta debe ser utilizada por profesionales con experiencia en el cuidado de animales, ya que los encargados de animales pueden detectar cambios sutiles en el comportamiento y condición de un individuo. Las bitácoras diarias aplicadas en el presente proyecto cumplieron con estas características, ya que eran llenadas en el momento del manejo de los animales y directamente por las personas que estaban a su cargo. Al revisar reportes se pueden identificar posibles problemas para el bienestar, y evaluar el riesgo potencial con una metodología validada, y los registros permiten proponer cambios para mejorar las áreas de oportunidad detectadas, además, individuos de la misma especie pueden expresar diferentes comportamientos al enfrentar los elementos del medio ambiente, por lo que es importante considerar el origen y los motivos de ese comportamiento. En esta investigación, por ejemplo, se registró que cuatro animales presentaron estereotipias, asociándose a lo reflejado en la bitácora de tiempos, donde se observó que el tiempo de libertad fue restringido a 28.6 minutos en promedio diario. Para medir el BA se evaluaron dos elementos generales, el componente animal y el componente humano, cada uno con diferentes variables.



Existe evidencia de reportes en donde se utilizan variables basadas en el animal para evaluar el BA, que se determinan a partir de indicadores fisiológicos, comportamiento y de salud; sin embargo, se sabe que no es suficiente enfocarse solo en estos indicadores, ya que se ha reportado que las evaluaciones multidisciplinarias que combinan diferentes elementos son más eficientes identificando factores que se asocian a un pobre bienestar, además de la integración de diferentes disciplinas, por lo que es importante registrar los elementos negativos y positivos para identificar las áreas de oportunidad y proponer mejoras con base en ellas. Por ejemplo, en base a la metodología en la investigación de perros entrenados para detectar COVID-19, se identificaron elementos negativos, como las necesidades sociales insatisfechas, por lo que se recomendó incrementar el tiempo de socialización, de igual manera se identificaron elementos positivos, como las necesidades de aprendizaje y entrenamiento que fueron fácilmente satisfechas ya que los animales estaban en un régimen de entrenamiento preciso, lo cual facilitó su aprendizaje y se mantuvo su rutina. El elemento de entrenamiento tuvo buenos resultados, ya que, los perros entrenaban a diario con el método de Kong de recompensa (refuerzo positivo), la rutina siempre fue muy puntual, los horarios no cambiaron y el área de entrenamiento fue la adecuada para las actividades que se aplicaron, el entrenamiento de perros debe ser regular y se deben usar sistemas de entrenamiento positivos, además de aumentar la frecuencia de entrenamiento de acuerdo con las necesidades del animal, siendo estas actividades realizadas de forma adecuada en el presente proyecto.

Con respecto a la socialización y convivencia evalúan la relación humano-animal como un parámetro para el bienestar animal, donde mencionan que el comportamiento del animal hacia el humano puede ser influenciado por la cantidad y calidad de las interacciones; como los métodos de entrenamiento, también señalan que los humanos tienen influencia en el ambiente del animal, por lo que las reacciones negativas al interactuar son un indicio de su bienestar. En este caso, los animales no mostraron aversión por sus entrenadores, ni presentaron ningún tipo de agresión hacia las personas que los rodeaban. Sin embargo, entre ellos existía una rivalidad y agresión marcada por el poco tiempo de convivencia entre congéneres. Solamente las hembras, no mostraron agresión entre su misma especie. En el área de cuidado y bienestar, la salud fue un elemento importante, ya que, desde el 31 de octubre del 2020, 7 de los perros presentaron infestación gastrointestinal por *Giardia lamblia*, que se caracteriza por ser una enfermedad difícil de tratar en lugares donde hay varios animales en un mismo espacio, requiriendo la administración del tratamiento por parte de los responsables de los animales, así como limpieza y desinfección de las áreas de forma constante.

Las razones que hacen difícil la eliminación de *Giardia lamblia* son: la resistencia de los quistes en el medio ambiente, la presencia de enfermedades intestinales, resistencia a



medicamentos y lo sencillo que es confundirla con otros protozoarios, por ejemplo, *Trichomonas* spp. La reinfestación es común, cuando no se realiza la terapéutica integral. En base a esto, los perros infectados se pusieron en tratamiento de manera inmediata con seguimiento médico especializado. Después de que los animales llevaron el tratamiento para giardiasis, en febrero del 2021 gracias a los estudios de gabinete realizados de forma continua, se identificó que 4 de los 9 animales presentaban trombocitopenia, proceso infeccioso activo y presencia de mórulas en el citoplasma celular observado en el frotis, por lo que se sospechó de infección transmitida por vectores como *Ehrlichia canis* o infecciones rickettsiales, es importante aclarar que en perros, el curso de la enfermedad es de forma asintomática, debido a que esta bacteria tiene diferentes especies, un ejemplo *R. belli*, *R. conorii*, *R. montanensis*, entre otras, *Rickettsia rickettsii* es de especial importancia, debido a que esta especie es la responsable de la aparición del cuadro clínico de la enfermedad en su forma natural y experimental, por lo que se considera importante mencionar que en perros se desarrolla de forma asintomática: *R. conorii*, *R. belli*, *R. rhipicephalus* y *R. montanensis*, siendo *R. rickettsii* la única especie causal de cuadros clínicos es en forma natural y experimental. Diferentes estudios serológicos sobre esta enfermedad demuestran que anticuerpos contra *R. rickettsii* se presentan entre el 5-15% de los caninos presentes en E.U.A, y un 4-31% de los caninos presentes en Brasil, diferentes investigadores consideran que los caninos mismos pueden ser utilizados como centinelas de esta enfermedad y otras zoonosis, debido que la seroprevalencia canina de *Rickettsia rickettsii* es aproximada a la humana, aunque esto depende de la zona geográfica, a su vez se han dado a conocer diversos reportes donde se exponen casos de infección canina y humana, presentándose hasta 34 casos simultáneos en un hogar, en el caso de *R. conorii*, se encontró una seropositividad del 14% en los perros estudiados en España y un 15-35% en Italia.

Por esta razón, los animales descansaron por 21 días mientras llevaban el tratamiento adecuado. Además, se observaron otros problemas de salud como heridas en los miembros, deshidrataciones leves, disminución en la ingesta de alimento y condición corporal de 2/5, todo esto fue asociado a un cuidado y bienestar pobre, ya que cualquier enfermedad es un indicador negativo de bienestar, la condición corporal es también un indicador, cuando es menor de 2/5 puede indicar nutrición inadecuada o la presencia de una enfermedad. Por otro lado, en el componente animal se evaluaron las necesidades sociales, del desarrollo y fisiológicas; se registró que los perros se quedaban en jaulas individuales la mayor parte del tiempo, y solo convivieron con los entrenadores en tiempo de juego y entrenamiento.

También se menciona que la restricción de movimiento y la limitación de interacciones con otros perros es perjudicial para el bienestar de los animales. Las interacciones de los perros entre si no fueron suficientes por lo que se recomendó que aumentaran el tiempo



de convivencia, los entrenadores limitaban las interacciones, por la ideología de que todos los perros eran “alfa”; cabe mencionar, que la idea tradicional es que los perros son animales de manada que tienen una jerarquía lineal, y su comportamiento es dirigido por el deseo de ser el “alfa” o “dominante” de la manada. Sin embargo, mencionan que una jerarquía estable disminuye los conflictos y la agresión, además indica que mayormente los rangos son lineales, aunque se pueden presentar jerarquías triangulares, también menciona que la asignación de rangos en la manada puede ser usada para la descripción de comportamiento y no necesariamente para describir la organización social.

La interacción con humanos es influyente en los caninos, los periodos de convivencia con humanos tienen beneficios directos para el perro, se ha demostrado que puede reducir el estrés. La influencia de la relación con humanos fue evidente en los resultados, ya que la perra que obtuvo 35 mejor puntuación de BA, fue la que tenía más tiempo e interacciones con el entrenador y demás personal. Se recomendó aumentar el tiempo de juego con el entrenador y cuidadores, además de agregar mayor tiempo para socializar con los otros animales para mejorar la convivencia y socialización. Los trastornos de comportamiento de los animales fueron evaluados por observación directa, estos trastornos nos son útiles para medir el bienestar que incluyen comportamiento anormal y normal, los cambios pueden ser en cuanto a la frecuencia, intensidad y duración de estereotipias que son consideradas comportamientos anormales, estas constan de movimientos repetitivos causados por diferentes sucesos o intentos de adaptarse al ambiente en el que sobreviven, generalmente la presencia de estereotipias en los animales nos hacen ver un bienestar animal pobre como se mencionó anteriormente, algunos perros presentan estereotipias en su jaula, esto se registró como un trastorno del comportamiento, por lo que se asignó una puntuación baja y se recomendó aumentar los tiempos de los perros en el patio grande sin restricciones: esto también se pudo asociar al reducido tamaño de las jaulas; según la Norma Oficial Mexicana -NOM062-ZOO-1999, las medidas de las jaulas para perros de investigación deben ser de 1.11 m² de área de piso/animal en animales de hasta 30 kilos y 2.23 m² de área de piso/animal en animales de más de 30 kg, y a una altura que el animal pueda estar de pie.

Durante el proyecto se tuvieron jaulas de dos diferentes tamaños, las jaulas de menor tamaño limitaban el movimiento del animal, ya que solo podía acostarse verticalmente, en la jaula de mayor tamaño el animal podía moverse e incluso andar en círculos como fue observado con las estereotipias. Además, la Norma Oficial Mexicana -NOM-062-ZOO-1999 señala que las jaulas deben tener condiciones adecuadas para la limpieza y desinfección, aunque se registró la limpieza diaria de las jaulas y se reportaron desinfecciones en las primeras semanas, el material del piso y paredes laterales de las jaulas, al ser de madera, no eran adecuadas para una buena limpieza y desinfección continua, y además, no contaban con drenaje de descarga para desechos, lo que



dificultaba la limpieza de las heces fecales y orina. Para aumentar el bienestar de los perros, se recomendó implementar mejoras en el ambiente, extender el espacio de los perros en jaulas de menor tamaño, agregar camas individuales y ofrecer distracciones, como juguetes, carnazas o cuerdas. Además, de utilizar materiales aislantes en el área donde estaban las jaulas para proteger a los animales de las condiciones medioambientales. Se les sugirió la opción de construir caniles en 36 donde los animales tuvieran la opción de estar bajo techo ó en un patio pequeño individual, con su drenaje que facilitara las limpiezas y desinfecciones; y finalmente, se les hizo hincapié en ponerles camas que no se encontraran al nivel del suelo y que les permitieran descansar.

Finalmente, la Norma Oficial Mexicana -NOM-062-ZOO-1999, también señala que las jaulas deben contar con bebederos y comederos, sin embargo, los animales se alimentaban en una o dos rotaciones al día, por lo que la comida no era de libre acceso. El agua, al principio del proyecto si se mantenía a libre acceso, tenían botes de metal individuales en las jaulas, pero por factores ya mencionados, (poco espacio, estrés y frustración), los animales empezaron a presentar estereotipias, mordiendo los botes hasta fracturarse los dientes en algunos casos, por lo que estos fueron retirados, lamentablemente el agua solamente se ofrecía antes y después de trabajar, este fue un valor importante donde se recomendó de manera insistente que los animales tuvieran libre acceso al agua las 24 horas del día, utilizando bebederos de otro material como cemento con azulejo antibacterial y drenaje individual, siendo ésta otra razón por la que se solicitó cambiar algunos materiales de las jaulas. Para el control de enfermedades se exhortó la desinfección de jaulas de manera frecuente con sustancias recomendadas como amonio cuaternario, y baños con shampoo clorhexidina al 4% cada 10 días en 3 ocasiones, además de no intercambiar espacios y no permitir la entrada a animales nuevos, se realizó el rápido y eficiente diagnóstico de enfermedades donde se hicieron estudios de laboratorio en tiempo y forma, lo que permitió estabilizar la salud de los animales de forma adecuada y temprana.

Conclusiones

Se puede mencionar que existen áreas de oportunidad que se pueden trabajar para aumentar el bienestar animal, en los cuales se pueden ir evitando o descartando diferentes factores que pudieran interferir con los resultados del desarrollo del animal. En el componente humano, los elementos que presentaron deficiencias normalmente son: la socialización, el cuidado y bienestar. En el componente animal los elementos que obtuvieron deficiencias son: las necesidades sociales y las necesidades fisiológicas. La socialización forma parte del desarrollo y comportamiento de los animales, por lo que los fortalecimientos en estas áreas serán de vital importancia para la mejora continua del bienestar animal.



Referencias

- Berteselli, G., De Massisa, F. (2019). Interobserver agreement and sensitivity to climatic conditions in sheltered dogs' welfare evaluation performed with welfare assessment protocol (Shelter Quality protocol). *Journal of Veterinary Behavior*, 29, 45- 52. doi.org/10.1016/j.jveb.2018.09.003
- Broom, D. (2011). Bienestar animal: conceptos, métodos de estudio e indicadores. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(3), 306-321.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902011000300010
- Castillo, J., Rodríguez, J., Carballo P., Pardo, D., Cepero, O., Gutiérrez, D., Fernández, J. (2012). Metodología para estimar el bienestar animal en perros y gatos como principales animales de compañía. *REDVET*. 13: 1-28.
- Chavez, G., Clementi, G., Aguila, C., Ubilla, M. (2019). Determinación del estado de bienestar en perros callejeros de dos centros urbanos de Chile. *Revista Científica y técnica*, 38(3), 1-22.
- Cobb, M., Bennette, P. (2015). The advent of canine performance science: Offering a sustainable future for working dogs. *Behavioural Processes* 110, 96-104.
doi.org/10.1016/j.beproc.2014.10.012
- Edwards, T., Brownea, C., Schoonc, A., Cox, C., Poling, A. (2017). Animal olfactory detection of human diseases: Guidelines and systematic review. *Journal of Veterinary Behavior* 1-15. doi.org/10.1016/j.jveb.2017.05.002
- Else, H. (2020). Can dogs smell COVID? Here's what the science says. *Nature* 587, 530-531. doi.org/10.1038/d41586-020-03149-9
- López, D. P., Javier, A.V., Azócar, A. K. (2007). Evidencia clínica y serológica de rickettsiosis canina en Chile. *Revista chilena de Infectología*, 24(3), 189-193. doi.org/10.4067/S0716-10182007000300002
- Maldonado-Cabrera, B., López-Robles, G., Robles-Zepeda, R., Nieblas-López, M., Macillas-Tapia, J., Osuna-Chávez, R. (2022). Validación externa por correlación de la evaluación del bienestar animal de caninos en entrenamiento. *Abanico Veterinario*, 12, e2022-7.



- Manteca, X., Mainau, E., Temple, D. (2012). ¿Qué es el bienestar animal? Farm Animals Welfare Education Center. https://www.fawec.org/media/com_lazypdf/pdf/fs1-es.pdf(consultado 16/02/2021).
- Mariti, C., Raspanti, E., Zilocchi, M., Carlone, B., Gazzano, A. (2015). The assessment of dog welfare in the waiting room of a veterinary clinic. *Animal Welfare*, 24, 299-305. doi 10.7120/09627286.24.3.299
- Polgár, Z., Blackwell, E., Rooney, N. (2019). Assessing the welfare of kennelled dogs-A review of animal-based measures. *Applied animal behaviour science*, 213: 1–13. doi.org/10.1016/j.applanim.2019.02.013.
- Rodríguez V. (2015). Bienestar animal. Córdoba. UCO Universidad de Córdoba. Disponible en: http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/30_16_09_Binestar_Animal_VRE.pdf (consultado 16/02/2021).
- Ruiz, J., Ramírez, G., Munera, A., Arroyave, C., Castaño, L., López, P. (2019). Comparison of secnidazole and fenbendazole for the treatment of asymptomatic giardia infection in dogs. doi:10.30564/vsr.v1i1.1067.
- Salas, M., Manteca, X. (2016). Assessing welfare in zoo animals: animal-based indicators. Zoo Animal Welfare Education Centre. Disponible http://www.zawec.org/media/com_lazypdf/pdf/Sheet%20ZAWEC%204.pdf
- Saleh, M., Gilley, A., Byrnes, M., Zajac, A. (2016). Development and evaluation of a protocol for control of *Giardia duodenalis* in a colony of group-housed dogs at a veterinary medical college. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 249(6), 644–649. doi:10.2460/javma.249.6.644
- Van der Harst, J., Spruijt, B. (2007). Tools to measure and improve animal welfare: reward-related behavior. *Animal Welfare*, 16(S), 67-73. doi:10.1017/S0962728600031742



Identificación *in silico* de la red de interacción de factores de virulencia PLD y CP40 de *Corynebacterium pseudotuberculosis* aislado mexicano 2JL

Roberto Montes de Oca Jiménez^{1*}, María Carla Rodríguez Domínguez¹, Martha Elba Ruiz Riva Palacio²

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. ²Plantel “Sor Juana Inés de la Cruz” de la escuela preparatoria. UAEM AMECAMECA, México. *romojimenez@yahoo.com, mariacarlarodriguezdominquez@gmail.com y meruizr@uaemex.mx

Introducción

La Linfadenitis caseosa (LAC) es una enfermedad bacteriana que afecta principalmente a pequeños rumiantes, cuyo agente causal es *Corynebacterium pseudotuberculosis* (*C. pseudotuberculosis*) biovar *ovis*. La enfermedad se presenta de forma cutánea y/o visceral, siendo en la primera característica la formación de abscesos en nódulos linfáticos subcutáneos, los cuales son visibles y palpables a través de la piel y su localización depende del punto de entrada del microorganismo. Las lesiones pueden aparecer como abscesos organizados, con inflamación, encapsulación fibrosa, pérdida de pelo sobrepuesto y ruptura eventual, dando como resultado la descarga de contenido purulento. En la forma visceral, los abscesos tienen lugar en los nódulos linfáticos internos, así como en pulmones, hígado y riñones, causando deterioro en la condición orgánica del animal hacia el desarrollo de un curso crónico. En el establecimiento de la infección se requiere de la adhesión a las células del hospedero, multiplicación intracelular, diseminación a otros tejidos y persistencia. Las proteínas PLD y CP40 constituyen factores de virulencia principales de *C. pseudotuberculosis ovis*, consideradas proteínas exportadas o secretadas por la bacteria, que favorecen la infección ya sea involucradas en la adhesión e invasión de las células del hospedero, en la adquisición de nutrientes, toxicidad y en la evasión del sistema inmune. Aun se continúa con el estudio de los factores de virulencia de *C. pseudotuberculosis*, para establecer el conjunto de proteínas que participan en interacción para el establecimiento de la infección bacteriana.

En los últimos años la ovinocultura mexicana se ha fortalecido de manera considerable, por lo que las investigaciones se han dirigido al estudio de patógenos que afectan la producción de pequeños rumiantes. La Linfadenitis caseosa es una enfermedad que se encuentra presente en el territorio mexicano y es considerada una de las enfermedades infecciosas económicamente más importantes que afecta la producción ovina y caprina. En México diversos estudios han demostrado la presencia de la LAC en los rebaños ovinos y caprinos en diferentes regiones del país. En el 2015 se realizó la identificación de 57 aislamientos de *C. pseudotuberculosis* de un total de 160 muestras procedentes del Estado de Jalisco. Las cepas se identificaron mediante bacteriología miniaturizada



API Coryne, pruebas bioquímicas y PCR, obteniéndose una frecuencia del 33%. También se ha realizado la secuenciación del genoma completo de seis cepas de origen mexicano, de diferentes biovar, aisladas de diferentes hospederos, cuyas secuencias se encuentran reportadas en la base de datos del GenBank, donde el análisis filogenético agrupó cada una de las cepas en función del tipo de biovar, y en el caso de las cepas biovar *ovis* no se agruparon en función de su cercanía geográfica. Las cepas biovar *ovis* contienen un elevado grado de clonalidad, pero no presentan el mismo grado de agrupación filogenética en los clados que las cepas biovar *equi*. Además, en este trabajo la comparación del genoma de 46 cepas permitió identificar dos clusters de genes que podrían ser empleados para la diferenciación de las cepas biovar *equi* (cluster: CRISPR-Cas) y biovar *ovis* (cluster: proteínas de tipo III de Restricción-modificación).

El estudio de *C. pseudotuberculosis ovis* para el establecimiento de factores virulencia, permite entender cuáles son las estructuras y moléculas que le confieren la capacidad a la bacteria para causar la enfermedad. Establecer la interacción de estas proteínas con otras moléculas de la bacteria aumenta las posibilidades de determinar posibles moléculas candidatas para el desarrollo de medios diagnósticos y vacunas.

***Corynebacterium pseudotuberculosis*: factores de virulencia**

C. pseudotuberculosis biovar *ovis* es una bacteria gran positiva, intracelular facultativa que tiene la capacidad de sobrevivir en el interior de los macrófagos. Presenta una morfología coco-bacilar con amplitud de 0.5-0.6 μm y 1.0-3.0 μm de longitud. Este microorganismo es un patógeno no flagelado, no forma esporas ni capsula y su contenido G+C es de aproximadamente 51 a 68%. Forma colonias opacas convexas, de color blanco grisáceo, con tamaño de 1mm a las 24 horas. La pared celular presenta ácidos micólicos (ácidos corynomicólicos) de aproximadamente 22 a 36 átomos de carbono que se unen a una red de heteropolisacaridos formados por arabinogalactanos, glicolípidos y proteínas. La estructura lipídica formada por los ácidos corynomicólicos se considera un factor de virulencia de la bacteria que actúa como una barrera protectora y de permeabilidad selectiva. Un estudio histopatológico en ovejas infectadas con ácidos corynomicólicos, permitió detectar la formación de lesiones como congestión, degeneración y necrosis en los órganos reproductivos, así como también se ha evidenciado el aumento de haptoglobina y amiloide sérico A proteínas sanguíneas sintetizadas principalmente por células hepáticas como parte de la respuesta ante infecciones en fase aguda. Estos resultados indican el potencial virulento de los ácidos corynomicólicos, ya que por sí solos fueron capaces de inducir en el hospedero el aumento de estas proteínas indicadoras de inflamación e infecciones agudas.

La bacteria presenta el operón (fag ABCD) con genes que codifican para proteínas relacionadas con la adquisición de hierro, actividad que favorece la supervivencia de la



bacteria en el hospedero El gen *fag A* codifica para la proteína integral de membrana (Fag A), el gen *fagB* para una enterobactina transportadora de hierro (Fag B), el gen *fagC* para una proteína de membrana citoplasmática de unión a ATP (FagC) y el gen *fagD* para una proteína siderófora de unión a hierro, todas consideradas de gran importancia para la virulencia de la bacteria.

La exotoxina Fosfolipasa D es considerada el factor de virulencia principal de *C. pseudotuberculosis*. El gen *pld* fue identificado y secuenciado en 1990, forma parte de la isla de patogenicidad PiCp1 y codifica para una proteína de 31.4KDa. La PLD es clasificada como una esfingomielinasa D, también conocida como esfingomielina fosfodieasterasa D o fosfolipasa D (PLD), que cataliza la escisión hidrolítica de la esfingomielina para producir colina y ceramida 1-fosfato o colina y ácido lisofosfatídico (LPA). El mecanismo de acción de la toxina cataliza la disociación de la esfingomielina en las membranas celulares endoteliales, lo que aumenta la permeabilidad vascular, contribuye a la diseminación y persistencia de la bacteria en los fagocitos, que la transportan a nódulos linfáticos donde se desarrollan los abscesos. Aunque su acción no se ha considerado directamente hemolítica, se ha informado que es capaz de producir hemólisis sinérgica.

La proteína CP40 fue identificada en 1994 como antígeno con capacidad protectora contra la LAC. El gen presenta un marco abierto de lectura de 1,137 pb y se encuentra ubicado corriente abajo del gen *pld* en la PiCp1. La proteína CP40 fue detectada en el sobrenadante del medio de cultivo de *C. pseudotuberculosis* mediante inmunoensayo, por lo que se caracterizó como proteína extracelular secretada por la bacteria. Inicialmente fue descrita como enzima con actividad proteasa serina, pero en el 2016 se realizó un estudio donde se demostró que la actividad enzimática desarrollada por esta proteína es de endoglicosidasa mediadoras de la hidrólisis de enlaces glicosídicos.

El desarrollo de una infección experimental en ovinos demostró mediante ensayos de inmunoblot que la producción de anticuerpos estuvo dirigida en un 88% al reconocimiento de proteínas de 30-31KDa (PLD) y en un 75%-88% hacia proteínas de 38-41KDa (CP40), rango en el que se encuentran ambas proteínas. El análisis del exoproteoma de la cepa 1002 de origen brasileño, antes y después de la reactivación de la virulencia tras 2 pases en ratones BALB/c, mostró dos perfiles proteicos diferentes. Un total de 118 proteínas se expresaron de manera diferente, de estas 48 solo se detectaron en la cepa no virulenta y 32 en la cepa tras 2 pases en el modelo animal. El análisis por espectrometría de masas permitió la identificación de las proteínas PLD y CP40 únicamente en la cepa cuya virulencia fue reactivada. La cepa 1002 se había mantenido en el laboratorio y tras varios pases en medio de cultivo el perfil de expresión cambio, especialmente no mostrando proteínas efectoras relacionadas a la virulencia bacteriana. Sin embargo, en este estudio



se demostró que tras 2 pases en ratones fue capaz de reactivar su virulencia. Por otra parte, a través de PCR en tiempo real se identificaron *in vitro* e *in vivo* la expresión de varios genes involucrados en la virulencia entre ellos *pld* y *cp40*. Este análisis permitió constatar que en las cepas aisladas de nódulos linfáticos la expresión de estos genes fue superior en comparación con la cepa obtenida de cultivo *in vitro*. Ambas proteínas constituyen importantes factores de virulencia y potenciales candidatos para el desarrollo de vacunas contra la LAC.

Otros factores de virulencia identificados en *C. pseudotuberculosis* son las proteínas relacionadas con la estructura del *pilis*, el gen *spaC* que codifica para una proteína responsable del anclaje del *pili* a la pared celular permite el contacto inicial con los receptores de la célula, para luego facilitar la invasión intracelular. Las estructuras del *pili* están compuestas por el *pili* mayor SpaA y SpaD; el *pili* menor SpaB y SpaE; y el *pili* tipo, SpaC, SpaF. Una estructura completa de *pili* o incluso el *pili* menor pueden realizar un contacto inicial con receptores de las células hospederas, para facilitar la entrada del microorganismo. El gen *namH*, que codifica para una neuroaminidasa extracelular también ha sido detectado en cepas de *C. pseudotuberculosis*. Esta proteína pertenece a una clase de glicosil hidrolasas que catalizan la eliminación de los grupos de ácido siálico presentes en una gran variedad de glicoconjugados de la matriz extracelular de la célula del hospedero. Por otra parte, el gen *sodC*, que codifica para una superóxido dismutasa, enzima que reduce los efectos del estrés provocado por el estallido respiratorio dentro de los macrófagos, facilitando la eliminación de radicales libres del oxígeno, también ha sido identificada y secuenciada en cepas de este patógeno. Esta proteína se encuentra localizada anclada a la membrana con dominio extracelular, lo que confiere protección ante el estrés del entorno en que se encuentre la bacteria y favorece su permanencia intracelular. Debido al rol que desempeñan estas moléculas en el desarrollo de la patogenicidad y virulencia de la bacteria, se considera de suma importancia el estudio de la red de interacción que se establece entre estas moléculas, las cuales pueden estar involucradas en la adhesión, invasión, colonización, propagación dentro del hospedero, supervivencia en el interior de las células infectadas y la evasión del sistema inmune.

Linfadenitis Caseosa: Patogénesis

La enfermedad por lo general se presenta de forma cutánea y/o visceral siendo característica de la primera la formación de abscesos en nódulos linfáticos subcutáneos, los cuales son visibles y palpables a través de la piel. Las lesiones pueden aparecer como abscesos organizados, con inflamación, encapsulación fibrosa, pérdida de pelo sobrepuesto y ruptura eventual, dando como resultado la descarga de contenido purulento. En la forma visceral, los abscesos tienen lugar en los nódulos linfáticos internos, así como en pulmones, hígado y riñones, causando deterioro en la condición orgánica del animal hacia el desarrollo de un curso crónico. La bacteria ingresa al



hospedero a través de lesiones en la piel las cuales pueden ser provocadas debido al manejo inadecuado de los ovinos y caprinos. Laceraciones durante el corte de cola, marcaje de orejas, castración, esquila o en algunos casos lesiones generadas durante la alimentación con forraje espinoso que daña la mucosa oral, se asocian con la transmisión del microorganismo. El periodo de incubación es muy variable y prolongado, tanto en ovejas como en cabras se han observado periodos de incubación de 2 semanas o de meses. Se ven afectados con mayor frecuencia los nódulos mandibulares o parotidos y preescapulares de forma general. En ovinos la apariencia morfológica de los nódulos abscedados es la característica de capa de cebolla al presentar una distribución en láminas concéntricas fibrosas separadas por material caseoso. Por el contrario, en cabras los nódulos no presentan esta configuración, sino que el exudado es usualmente una pasta uniforme y seca. El análisis histopatológico de abscesos ha permitido identificar un centro amorfo y eosinófilo de necrosis rodeado por una delgada capa de linfocitos, células plasmáticas, algunas células epitelioides y neutrófilos, rodeado por una red de fibroblastos. Las características clínicas incluyen, anemia, leucocitosis con neutrofilia y altos valores de fibrinógeno, aumento de inmunoglobulinas (IgG) y aumento de Interferón gamma (IFN- γ).

Las bacterias no controladas por la pared del absceso entran en los capilares y forman colonias que ocluyen los vasos generando isquemia que, junto a las toxinas, destruyen las células del tejido sano, aumentando la masa necrótica. Las bacterias viables se diseminan a través de los vasos linfáticos y penetran otros linfonodos, y eventualmente, en los vasos sanguíneos, llegando a diferentes órganos donde se repite la formación de abscesos. Este comportamiento provoca el desarrollo de la forma visceral de la enfermedad que afecta nódulos linfáticos internos y órganos especialmente pulmón e hígado, como consecuencia de la diseminación hematogena desde el conducto eferente de los nódulos linfáticos con abscesos.

Red de interacción de factores de virulencia PLD y CP40 de *Corynebacterium pseudotuberculosis ovis*

Las interacciones proteína-proteína tienen un papel fundamental en muchos procesos biológicos lo que dirige la investigación al estudio de los complejos macromoleculares abriendo nuevas vías para entender la patogénesis ocasionada por la bacteria y establecer nuevos diseños de vacunas.

Teniendo como referencia las secuencias de proteínas PLD y CP40 derivadas de la secuencia de nucleótidos de los genes *pld* (acceso: OL347711) y *cp40* (acceso: OL347712), de *Corynebacterium pseudotuberculosis ovis* aislado 2JL de origen mexicano se estableció *in silico* la red de interacción de ambas proteínas mediante el empleo del programa bioinformático String (<https://string-db.org/>). Utilizando como parámetros la



y se encontró que la producción de carbohidratos en la superficie de la pared celular está inversamente correlacionada con la concentración de hierro de los medios de cultivo.

La expresión de sialidasas, que funcionan como glicosil hidrolasas que catalizan la escisión de los residuos de ácido siálico terminal de una variedad de glicoconjugados, también se correlaciona con la depresión de hierro. Además, al presentar la bacteria en su superficie celular ácidos siálicos de la célula hospedera, estas pueden eludir la respuesta inmunitaria que de otro modo podría eliminar rápidamente una cepa no sializada.

También la proteína PLD estableció relación con el péptido serine proteasa, pepD (posible CP40), siendo según la escala de colores del tipo amarillo que se asocia con procesos metabólicos celulares, verde con expresión de genes, azul con regulación del metabolismo celular y rojo con regulación de actividad endopeptidasa.

Esta red de interacción ofrece información que indica que la exotoxina PLD, considerada factor de virulencia principal de *C. pseudotuberculosis*, en su accionar se relaciona con otros factores de virulencia, que en su conjunto favorecen la virulencia de la bacteria. PLD presenta una secuencia ampliamente conservada en todas las cepas, y cuando esta se encuentra modificada se dificulta la capacidad de producir la enfermedad. A través del análisis del pan-genoma de 15 muestras de *C. pseudotuberculosis* se detectó la presencia del gen *pld* en todas las cepas analizadas. Solo una de estas cepas presentó una mutación en el extremo 3' del gen *pld*, lo que se relacionó con el hecho de que tuviera una menor capacidad de diseminación en el hospedero.

Esta proteína ha sido objeto de estudio como diana en el desarrollo de vacunas, siendo el antígeno principal en la mayoría de las vacunas comerciales actualmente disponibles para LAC. En vacunas de desarrollo experimental se ha evaluado en formulaciones inactivadas, atenuadas, de ADN y como proteína recombinante. Para vacunas de subunidades basadas en proteína PLD recombinante evaluadas en modelos murinos se ha observado un aumento significativo en la producción de anticuerpos IgG, con protección de los grupos vacunados ante el desafío con cepas virulentas. La formulación con la proteína rCP09720 (esterasa) o rCP01850 (proteína L14 de unión a la subunidad 50S) y la PLD obtenidas por vía recombinantes permitió una tasa de supervivencia después del desafío de 30% (rPLD), 40% (rPLD + rCP09720) y 50% (rPLD + rCP01850). La combinación de rCP01850 con rPLD confirió protección al 50% de los animales desafiados con una cepa virulenta, con un aumento significativo en los niveles de IgG2. Por lo que se sigue trabajando en la búsqueda de combinaciones de proteínas asociadas a la virulencia para establecer una formulación que aumente la eficacia en la protección.

La proteína CP40 establece relación principalmente con proteínas asociadas a adhesión celular y de unión a dominios de IgG (Figura 2).

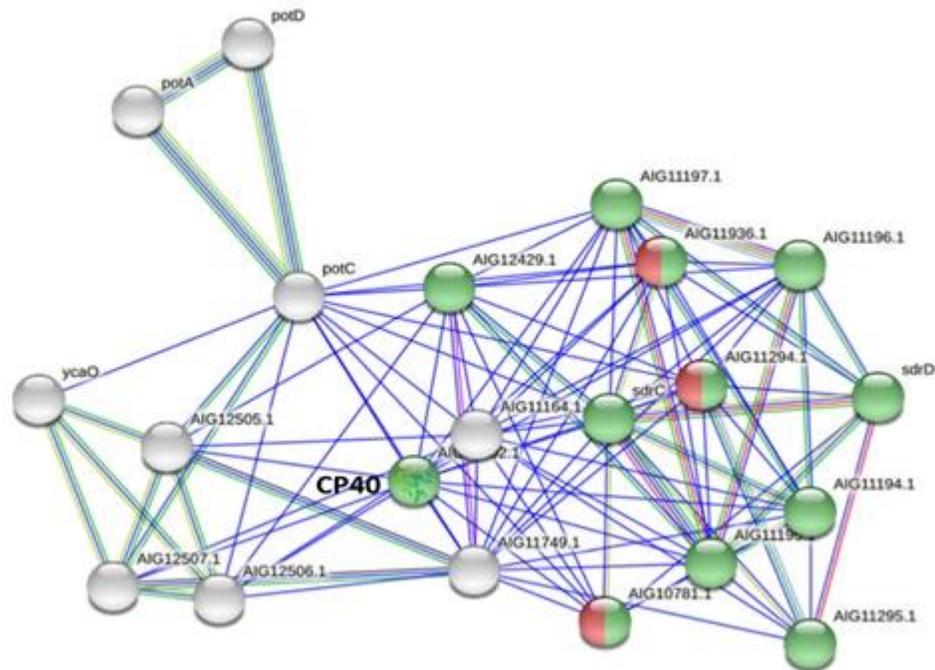


Figura 2. Red de interacción de la proteína CP40 en relación con 20 interacciones para un valor de confianza de 0.7. En los círculos: el color verde se asocia con unión a dominios de IgG, el color rojo dominios de adhesión y el color gris: no asociación o función establecida. En las líneas: el color amarillo se asocia con: mención en un mismo texto científico, el color azul oscuro: co-expresión de genes, verde: genes cercanos, rojo: genes fusionados, negro: co-expresión de proteínas, gris: proteínas homologas, azul claro: proteínas relacionadas en bases de datos y magenta: proteínas relacionadas experimentalmente.

La asociación con proteínas de adhesión indica que podría estar involucrada en la capacidad que presenta la bacteria para colonizar diferentes tipos de hospederos. *C. pseudotuberculosis* es intracelular facultativa y presenta la capacidad de sobrevivir en el interior de los macrófagos, lo cual le permite propagarse y llegar al ganglio linfático más cercano del sitio inicial de infección, y una vez ahí se produce la formación de abscesos. Se plantea que la proteína PLD esta involucrada en el mecanismo por el cual la bacteria degrada la esfingomielina de la membrana del fagolisosoma y queda libre en el citoplasma de los macrófagos, donde también resiste la acción de los radicales libres del oxígeno y el nitrógeno, estando involucradas las enzimas Superóxido Dismutasas (SODs), Catalasas, y el Factor Sigma de la bacteria. Los mecanismos involucrados en la adherencia y supervivencia intracelular de *C. pseudotuberculosis* en células no fagocíticas aún siguen siendo objeto de estudio por diversos investigadores. En estudios *in vitro* *C. pseudotuberculosis* fue capaz de adherirse e invadir la línea fibroblástica de células embrionarias de riñón ovino FLK-BLV-044, con replicación celular durante 24 horas después de la infección y viabilidad bacteriana hasta 120 horas, con una correlación positiva entre la tasa de adherencia e invasión. Estos resultados sugieren que



la instauración de la infección, así como, la persistencia puede estar favorecidas por la infección intracelular en tejido de la puerta de entrada y no solo por la infección de células fagocíticas. También se evidenció que la invasión celular de *C. pseudotuberculosis* depende de la concentración bacteriana, sugiriéndose la saturación de los receptores celulares a partir de una multiplicidad de infección (MOI) superior a 100. La pre-incubación de *C. pseudotuberculosis* con azúcares y suero anti-*C. pseudotuberculosis* inactivado y completo, sugiere que se produce el bloqueo de receptores bacterianos específicos y/o ligandos celulares al observarse un drástico descenso en la tasa de internalización bacteriana. La invasión celular detectada mediante inmunofluorescencia, también demostró que las bacterias inactivadas por calor o radiación ultravioleta, no se localizaron en el interior celular, lo que sugiere que la internalización de *C. pseudotuberculosis* en células de la línea celular FLK-BLV-044 requiere de bacterias viables o que presenten los componentes de la superficie bacteriana intactos para interactuar con la superficie celular. En el sitio de ingreso de la bacteria, la capacidad de persistencia en células no fagocíticas, así como el factor piógeno (ácidos corynomicólicos de la pared celular) y la exotoxina Fosfolipasa D, facultan al microorganismo para resistir las defensas antimicrobianas inespecíficas que se interponen a la infección, facilitando el acúmulo de fagocitos en el foco de multiplicación bacteriana. La bacteria es fagocitada por los macrófagos que son reclutados al sitio de infección y se ha demostrado mediante infección *in vitro* de la línea de macrófagos J774, que tienen la capacidad de permanecer viable dentro de estos hasta 72 horas, evadiendo los mecanismos de eliminación de patógenos que presentan los macrófagos.

La actividad enzimática desarrollada por la proteína CP40 es de endoglicosidasa mediadoras de la hidrólisis de enlaces glicosídicos, proteínas de la familia GH18, similar al dominio a- Endo E perteneciente a *Enterococcus faecalis*. Se ha demostrado *in vitro* que la proteína CP40 es capaz de degradar la región Fc de anticuerpos IgG, no hidroliza los glicanos en las IgG bovinas y caprinas, mientras que si hidroliza la IgG ovina y la IgG equina. El contenido total de los carbohidratos en la IgG caprina, tales como grupos fucosilados, terminales galactosidados y oligosacáridos bisectantes es mucho más bajos que en los IgG humanos e IgG ovina por lo que la acción enzimática es más marcada en estos últimos.

Esta proteína también se ha utilizado como antígeno en el desarrollo de vacunas de subunidades en un estudio experimental en ovejas, la inmunización con 100µg de CP40 recombinante protegió al 82% de los animales, con una disminución de las lesiones pulmonares en el 98% de los animales. No se encontró relación entre la disminución en el desarrollo de lesiones pulmonares y el título de anticuerpos, por lo que se asumió que la respuesta celular fue la responsable de la protección ante la infección. En este caso los anticuerpos anti-CP40 podrían estar involucrados en la protección a través de



mecanismos indirectos, como citotoxicidad celular dependiente de anticuerpos. El suero de los animales vacunados se analizó mediante inmunoblot, mostrando una fuerte respuesta de anticuerpos específica, restringida a la proteína de 40 kDa.

En el modelo murino CP40 recombinante, con saponina como adyuvante, mostró valores elevados en los niveles completos de anticuerpos anti-CP40r IgG y de las subclases IgG2a, IgG2b e IgG3, con diferencia estadísticamente significativas con respecto al grupo control al día 60 después de la inmunización. Las subclases IgG2a e IgG2b se consideran los mediadores más potentes para la modulación adecuada de una respuesta inmune, tipo Th1, mientras que IgG1 e IgG3 están relacionada con la respuesta Th2, la respuesta humoral y las reacciones alérgicas. Los resultados sugieren una tendencia hacia una respuesta de Th1, mientras que los isotipos asociados a respuestas de tipo Th2, como IgG1 e IgG3, no se detectaron o reaccionaron menos a la proteína recombinante.

Las investigaciones más recientes se han enfocado en la identificación de nuevas moléculas implicadas en los mecanismos de patogenicidad y virulencia de la bacteria para su posterior evaluación como candidatos vacunales. Hasta la fecha los resultados más alentadores se han obtenido con formulaciones a base de la exotoxina PLD o la endoglicosidasa CP40, obtenidas por vía recombinante. Cabe destacar que estas moléculas no se han evaluado en una misma formulación, lo cual favorecería la respuesta inmune humoral y celular, en base a sus capacidades individuales anteriormente comprobadas.

Conclusiones

Las proteínas PLD y CP40 pueden estar relacionadas en interacciones de tipo funcionales y metabólicas. El uso de ambas proteínas en una formulación vacunal estaría direccionando la acción del sistema inmune sobre la acción de mecanismo o funciones bacterianas diferentes, lo cual representa una estrategia valiosa para el desarrollo de una vacuna.

Referencias

- Correa, J. I., Stocker, A., Castro, S.T., Vale, V., Brito, T., Bastos, B. (2018). *In vivo* and *in vitro* expression of five genes involved in *Corynebacterium pseudotuberculosis* virulence. *AMB Express*, 8, 89. doi.org/10.1186/s13568-018-0598-z.
- De Pinho, R. B., de Oliveira Silva, M. T., Bezerra, F. S. B., Borsuk, S. (2021). Vaccines for caseous lymphadenitis: up-to-date and forward-looking strategies. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(6), 2287–2296. doi.org/10.1007/s00253-021-11191-4.



- Dorella, F. A., Pacheco, L. G., Oliveira S. C., Miyoshi, A., Azevedo, V. (2006). *Corynebacterium pseudotuberculosis*: microbiology, biochemical properties, pathogenesis and molecular studies of virulence. *Veterinary Research*, 37(2), 201–218. doi.org/10.1051/vetres:2005056
- Hodgson, A. L. M., Bird, P. Nisbett, I. T. (1990). Cloning, nucleotide sequence, and expression in *Escherichia coli* of the phospholipase D gene from *Corynebacterium pseudotuberculosis*. *Journal of Bacteriology*, 172, 1256–1261. doi.org/10.1128/jb.172.3.1256-1261.1990
- Ott, L. (2018). Adhesion properties of toxigenic corynebacteria. *AIMS Microbiology*, 4(1), 85-103. https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.1.85
- Pacheco, L. G. C, Slade, S. E, Seyffert, N., Santos, A. R., Castro, T. L. P. (2011). A combined approach for comparative exoproteome analysis of *Corynebacterium pseudotuberculosis*. *BMC Microbiology*, 11, 12. doi.org/10.1186/1471-2180-11-12
- Paule, B. J., Meyer, R., Moura-Costa, L. F., Bahia, R. C., Carminati, R., Regis, L. F. (2004). Three-phase partitioning as an efficient method for extraction / concentration of immunoreactive excreted-secreted proteins of *Corynebacterium pseudotuberculosis*. *Protein Expression and Purification*, 34, 311–16.
- Rodríguez-Domínguez, M. C., Montes de Oca-Jiménez, R., Varela-Guerreo, J. A. (2021). Linfadenitis caseosa: factores de virulencia, patogénesis y vacunas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(4), 1221-1249. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i4.5699
- Ruiz, J. C., D'Afonseca, V., Silva, A., Ali, A., Pinto, A. C. (2011). Evidence for reductive genome evolution and lateral acquisition of virulence functions in two *Corynebacterium pseudotuberculosis* strains. *PLoS One*, 6, e18551. doi.org/10.1371/journal.pone.0018551
- Sá, M. A., Gouveia, G. V., Krewer, C., Veschi, J. L. A., Mattos-Guaraldi, A. L., Costa, M. M. (2013). Distribution of PLD and FagA, B, C and D genes in *Corynebacterium pseudotuberculosis* isolates from sheep and goats with caseus lymphadenitis. *Genetics and Molecular Biology*, 36(2), 265-268. doi.org/10.1590/S1415-47572013005000013



- Seyffert, N., Silva, R. F., Jardim, J., Silva, W. M., Castro, T. L., Tartaglia, N. R. (2014). Serological proteome analysis of *Corynebacterium pseudotuberculosis* isolated from different hosts reveals novel candidates for prophylactics to control caseous lymphadenitis. *Veterinary Microbiology*, 174, 255–60. doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.08.024.
- Shadnezhad, A., Naegeli, A., Collin, M. (2016). CP40 from *Corynebacterium pseudotuberculosis* is a endo B-N- acetylglucosaminidase. *BMC Microbiology*, 63(1), 206-211. doi.org/10.1186/s12866-016-0884-3
- Silva, W. M., Dorella, F. A., Soares, S. C., Souza, G. H. M., Castro, T. L. P., Seyffert, N., Figueiredo, H. (2017). A shift in the virulence potential of *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovar ovis after passage in a murine host demonstrated through comparative proteomics I. *BMC Microbiology*, 17, 55. doi.org/10.1186/s12866-017-0925-6
- Soares, S. C., Trost, E., Ramos, R. T. J., Carneiro, A. R., Santos, A. R., Pinto, A. C., Barbosa, E. (2012). Genome sequence of *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovar equi strain 258 and prediction of antigenic targets to improve biotechnological vaccine production. *Journal of Biotechnology*, 167(2), 135-141. doi.org/10.1016/j.jbiotec.2012.11.003
- Soares, S. C., Silva, A., Trost, E., Blom, J., Ramos, R., Carneiro, A. (2013). The pan-genome of the animal pathogen *Corynebacterium pseudotuberculosis* reveals differences in genome plasticity between the biovar ovis and equi strains. *PLoS ONE*, 8(1), e53818. doi.org/10.1371/journal.pone.0053818
- Valdivia, J. (2015). Vida intracelular de *Corynebacterium pseudotuberculosis* [Tesis de Doctorado, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Instituto Universitario de Sanidad animal y Seguridad alimentaria, España]. <http://hdl.handle.net/10553/17093>
- Varela, G. J. A., Montes de Oca, J. R., Acosta, J. D., Hernández, F. L., Morales, E. V., Monroy, S. G. H. (2018). First report of isolation and molecular characterization of the pathogenic *Corynebacterium pseudotuberculosis* from of sheep and goats in Mexico. *Microbial Pathogenesis*, 117, 304-309. doi.org/10.1016/j.micpath.2018.02.031



Viana, M. V. C., Figueiredo, H., Ramos, R., Guimares, L. C., Pereira, F. L., Dorella, F. A., Salah, A. (2017). Comparative genomic analysis between *Corynebacterium pseudotuberculosis* strains isolated from buffalo. *PLoS ONE*, 12(4), e0176347. doi.org/10.1016/j.jbiotec.2012.11.003

Walker, J., Jackson, H. J., Wilson, M. J., Eggleton, D. G., Meeusen, E. N. T., Brandon, M. R. (1994). Identification of a novel antigen from *Corynebacterium pseudotuberculosis* that protects sheep against caseous lymphadenitis. *Infect Immunol*, 62, 2562–2567. doi.org/10.1128/iai.62.6.2562-2567



La enfermedad de Chagas: problemática emergente en el noroeste de México

Paulina Haro Álvarez^{1*}, Gilberto López Valencia¹, Gerardo Medina Basulto¹, Enrique Trasviña Muñoz¹,
Julio Alfonso Mercado Rodríguez¹, Carlomán Herrera Ramírez¹

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera, Mexicali-San Felipe Km 3.5, Laguna Campestre, Mexicali, 21386, B.C., México.
paulina.haro@uabc.edu.mx*, gilbertolopez@uabc.edu.mx, gerardom@uabc.edu.mx,
etrasvina@uabc.edu.mx, juliomr@uabc.edu.mx, jherrera20@uabc.edu.mx

Introducción

A partir de los acontecimientos recientes sobre salud a nivel mundial, las enfermedades zoonóticas han cobrado preponderante importancia. México es territorio endémico de un gran número de enfermedades zoonóticas que se distribuyen a lo largo del territorio nacional. La presentación de las diferentes entidades etiológicas causantes de enfermedades zoonóticas en determinado territorio se asocia a características, climáticas y medioambientales necesarias que permiten el cumplimiento de los ciclos de transmisión. Además, factores como el aumento de la población, los desequilibrios ecológicos causados por el crecimiento de la mancha urbana, la movilidad de la población, el intercambio comercial y el estilo de vida favorecen la diseminación de estas enfermedades en regiones o territorios antes no afectados o libres de casos de enfermedad, propiciando su emergencia o reemergencia.

La enfermedad de Chagas o tripanosomiasis americana es una enfermedad zoonótica, clasificada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una enfermedad tropical desatendida, y es quizás por la determinación de enfermedad tropical que es erróneamente considerada únicamente de ocurrencia exclusiva en climas tropicales. Actualmente, existe evidencia científica de casos de enfermedad en humanos y animales en la región noroeste de México, territorios que según sus características geográficas y climáticas hasta ahora eran considerados como no endémicos. Como resultado de los anteriores supuestos, ninguno o escasos esfuerzos se realizan para su vigilancia epidemiológica adecuada (diagnóstico, seguimiento, prevención y/o control).

Zoonosis

El término zoonosis se refiere a aquella enfermedad que se transmite a humanos desde una fuente animal. La palabra fue por primera vez utilizada en 1855 por Rudolph Virchow, un médico alemán que realizaba estudios sobre *trichinella*. Los trabajos realizados por este investigador lo convencieron de la conexión existente entre la medicina humana y veterinaria, dando inicios también a las nociones de lo que hoy se conoce como Salud Global. Actualmente, se estima que aproximadamente el 75% de las enfermedades emergentes que afectan al humano son zoonóticas. Las enfermedades zoonóticas



pueden ser transmitidas por contacto directo con un animal o por fomites (objetos inertes que sirven como vehículos para la diseminación de patógenos). También, pueden ser transmitidas a través de alimentos, agua contaminada o vectores. Este tipo de enfermedades además de poner en riesgo la salud de la población humana, también causan pérdidas económicas en el ámbito de producción de alimentos y altos costos para instaurar su tratamiento en la población humana y animal.

La enfermedad de Chagas o tripanosomiasis americana

La EC es endémica en América Latina y es considerada un problema importante de salud pública y durante los últimos años, la enfermedad ha recibido una creciente atención como un problema emergente en América del Norte y Europa debido a la migración internacional de personas de áreas endémicas a no endémicas. Se estima que en el mundo existen entre 6 y 7 millones de personas infectadas, y la mayoría de estos casos se encuentran en América Latina. La infección causada por *T. cruzi* cursa por diferentes etapas clínicas y subclínicas que hacen difícil su estudio y diagnóstico en el humano. En México, según un metaanálisis realizado, se estima que el 3.8% de la población se encuentra infectada, lo que representa a más de 4 millones de personas.

Presentación clínica

La enfermedad se presenta en dos etapas: aguda y crónica. La etapa aguda tiene una duración aproximada de 4 a 8 semanas y cursa asintomática en la mayoría de los pacientes, aunque en algunos casos pueden presentarse con signos inespecíficos, como fiebre y malestar general. En ocasiones puede aparecer una lesión cutánea característica en el lugar de la inoculación del parásito conocida como chagoma o un edema palpebral descrito como signo de Romana. Una vez dentro del organismo el parásito se replica intracelularmente; puede parasitar cualquier célula nucleada, pero tiene tropismo por las células musculares, principalmente las células del músculo cardíaco. Durante esta etapa el parásito se encuentra replicándose intracelularmente por fisión binaria cada 12 horas hasta romper la célula para posteriormente, circular de nuevo en sangre e infectar nuevas células para continuar con su replicación.

La etapa crónica se clasifica en asintomática y sintomática. La etapa crónica asintomática ocurre 1-2 meses posteriores a la etapa aguda en el humano y puede durar de 10 a 30 años. En esta etapa de infección no es posible la detección de parásitos circulando en sangre. Se caracteriza por la ausencia de signos, lo que ocasiona el progreso de la enfermedad sin signos clínicos aparentes y puede ser diagnosticada mediante la búsqueda de anticuerpos en sangre. Se estima que entre el 30 y 40% de los casos de infección crónica asintomática transitan a la fase crónica sintomática, desarrollando signos relacionados con el daño ocurrido en diferentes órganos, principalmente el corazón, aunque también puede causar daño a tracto digestivo y sistema nervioso, lo que



puede desencadenar falla cardíaca y muerte súbita, así como mega esófago y mega colón. En México el SINAVE reporta al año de 30,000 a 70,000 casos de enfermedad isquémica del corazón, la Enfermedad de Chagas puede simular una cardiomiopatía isquémica, por lo que en pacientes cardiopatas es de importancia descartar la presencia de este parásito.

El noroeste de México

El noroeste de México región también conocida como Pacífico Norte se conforma por 6 estados de la República Mexicana que son: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora. La región Pacífico Norte comprende un territorio de 752,000 km cuadrados lo que representa el 38% de la totalidad del territorio nacional y alberga a poco más de 16 millones de habitantes, casi 13% de la población del país según INEGI. El territorio tiene características de tipo climática y geográfica particulares, se identifica con territorios con climas extremos, generalmente muy secos a cálido húmedo, y según la región puede variar a templado subhúmedo y frío.

Adicionalmente, el noroeste de la república recibe la migración poblacional de otras zonas del país y de países de Latinoamérica que son endémicos para la enfermedad. Como ejemplo de cómo el fenómeno migratorio pudiera afectar la distribución de la enfermedad; se cita el caso particular de Baja California, en donde existen dos zonas agrícolas importantes: 1) El valle de Mexicali y; 2) El Valle de San Quintín (zona costa del municipio de San Quintín); en ninguno de los valles el mercado laboral regional permite abastecer la demanda de trabajadores agrícolas sobre todo en la época de cosecha. El desarrollo de la agricultura en ambos valles depende del abasto de trabajadores provenientes de otras regiones del país. El estado de Baja California recibe anualmente 100 mil jornaleros migrantes de zonas endémicas de la enfermedad. Los estados de Oaxaca y Guerrero son las principales zonas de emigración, mientras que los que fungen como receptores son los estados del noroeste y algunos del occidente como Sinaloa, Sonora, Baja California, Baja California Sur, Jalisco y Nayarit.

A pesar del clima no propiamente tropical en todo el territorio descrito. En todos los estados del noroeste de México se ha informado de manera oficial sobre casos de infección aguda y crónica de la EC en la población (SINAVE). En los últimos 5 años Sinaloa es el estado con mayor número de casos (41.6%) seguido por Chihuahua (25.5%) y Sonora (11.4%). Es importante señalar que en 2018 fue el año en que se reportó oficialmente la incidencia más alta con el 32.2% del total de casos en el periodo 2018-2022 (Tabla 1).

**Tabla 1. Casos de enfermedad de Chagas en el noroeste de México según SINAVE.**

Estados del noroeste de México	2018 (%)	2019 (%)	2020 (%)	2021 (%)	2022 (%)	Total (%)
Baja California	1	2	1	0	5	9 (6.0)
Baja California sur	2	4	3	3	4	16 (10.7)
Chihuahua	23	10	0	0	5	38 (25.5)
Durango	2	2	1	0	2	7 (4.7)
Sinaloa	16	16	10	6	14	62 (41.6)
Sonora	4	5	3	0	5	17 (11.4)
Acumulado anual	48 (32)	39 (26)	18 (12)	9 (6)	35 (23)	149 (100%)

Vías de transmisión

La principal vía de transmisión es la vectorial causada por insectos hematófagos de la familia Reduviidae, subfamilia Triatominae, conocidos comúnmente como chinches besuconas, aunque también puede transmitirse por transfusiones sanguíneas, verticalmente o connatal (de madre a hijo durante la gestación), por trasplante de órganos, vía oral (alimentos contaminados con heces del vector infectadas con el parásito) y por accidentes de laboratorio.

Transmisión Vectorial en el noroeste de México

En el territorio de México se informan un total de 32 diferentes especies y géneros del vector transmisor del parásito *T. cruzi*. En total son 15/32 las que se encuentran distribuidas en el territorio Noroeste, y en 6 de ellas ya ha sido identificada la infección con *T. cruzi* (Tabla 2).

Transmisión por Transfusión sanguínea en el Noroeste de México

La infección por transfusión sanguínea se considera la segunda forma de transmisión más importante. En total el país cuenta con 556 bancos de sangre, la mitad corresponden al sector privado (47%), el 25% sector público, 26% seguridad social, y 1% respectivamente para el sector, Militar/Polici a y Cruz Roja. En el 2002 se estimó que sólo 27% de la sangre colectada para donación era tamizada para la detección de infección con *T. cruzi*.

Según un estudio realizado en 71 bancos de sangre pertenecientes al IMSS, hasta 2008 no se incluía el tamizaje obligatorio para la detección de la enfermedad de Chagas, y solo 46/71 (63%) lo realizaban. En dicho estudio se comunica que, tras 7 meses posteriores a la implementación del tamizaje obligatorio para la enfermedad de Chagas, en 2009 el 77% practicaban el tamizaje (55/71).



Tabla 2. Especies del vector transmisor de la enfermedad de Chagas encontradas en el Noroeste de México.

Estado del Noroeste	Especies en la región	Especies naturalmente infectadas
Baja California	<i>Paratriatoma hirsuta</i> , <i>Triatoma protracta</i> , <i>Triatoma rubida</i> ,	-
Baja California Sur	<i>Dipetalogaster máxima</i> , <i>Paratriatoma hirsuta</i> , <i>Triatoma peninsularis</i> , <i>Triatoma protracta</i> , <i>Triatoma rubida</i> ,	<i>Dipetalogaster máxima</i> 0.9-7% y <i>Triatoma peninsularis</i>
Chihuahua	<i>Triatoma gerstaeckeri</i> , <i>Triatoma indictiva</i> , <i>Meccus longipennis</i> , <i>Triatoma protracta</i> , <i>Triatoma recurva</i> , <i>Triatoma rubida</i> , <i>Triatoma sanguisuga</i>	-
Durango	<i>Triatoma phyllosoma</i> , <i>Triatoma protracta</i> ,	<i>Triatoma protracta</i>
Sinaloa	<i>Triatoma indictiva</i> ; <i>Meccus longipennis</i> , <i>Meccus phyllosoma</i> ; <i>Triatoma protracta</i> , <i>Triatoma recurva</i> ; <i>Triatoma rubida</i> , <i>Triatoma sanguisuga</i> ; <i>Triatoma sinaloensis</i>	<i>Triatoma protracta</i> ; <i>Triatoma recurva</i> , <i>Triatoma rubida</i> , <i>Triatoma sinaloensis</i>
Sonora	<i>Paratriatoma hirsuta</i> , <i>Triatoma incrustata</i> , <i>Meccus longipennis</i> , <i>Triatoma protracta</i> , <i>Triatoma recurva</i> , <i>Triatoma rubida</i> , <i>Triatoma sinaloensis</i>	<i>Meccus longipennis</i> , <i>Triatoma recurva</i> , <i>Triatoma rubida</i> , <i>Triatoma sinaloensis</i>

Adaptado de Secretaría de Salud 2019.

En el periodo de estudio (8 meses), del total de las donaciones obtenidas el 0.4 resultaron positivas con lo que se detectaron 935 donaciones de personas infectadas y se evitaron 2151 transfusiones de sangre infectada. Como resultado de este estudio se pudo observar, que como caso particular se identifica a Baja California como una zona de alta incidencia de casos de infección. Sin embargo, en ese momento la enfermedad no era considerada como riesgo en la entidad (Tabla 3).

Aunque, existía evidencia de la problemática; no fue sino hasta el año 2016 que se logra el tamizaje en el 100% de los bancos de sangre a nivel nacional según el Centro Nacional de la Transfusión Sanguínea (CNTS). En el 2017 la misma fuente informa una media nacional de infección de 0.37%.



Tabla 3. Prevalencia de infección en bancos de sangre del Instituto Mexicano del Seguro social durante 2008 y el Centro nacional de Transfusión sanguínea durante 2017.

Estado	Prevalencia (%)	Prevalencia por estado Bancos de sangre del IMSS 2008 %	Centro nacional de Transfusión sanguínea 2017 %
Baja California	Ensenada (0.046)	0.02-0.21	0.20
	Mexicali (0.021)		
	Tijuana (0.21)		
Baja California Sur	La Paz (0.0)	0	0.33
	Chihuahua	Ciudad Juárez (0.43)	0.043-0.16
Ciudad Juárez (0.62)			
Chihuahua (0.166)			
Durango	Durango (0.34)	0.34	0.15
Sinaloa	Los Mochis (0.0)	0	3.22
	Mazatlán (0.0)		
Sonora	Ciudad Obregón (0.26)	0.26	0.17

Adaptado de Novelo-Garza 2010; Secretaria de Salud 2019.

Resalta particularmente el estado de Sinaloa con la prevalencia más alta a nivel nacional (3.22%) muy por arriba de los estados considerados con alta endemicidad como Aguascalientes (0.41%), Chiapas (0.56%), Guanajuato (0.39%), Guerrero (0.50%), Hidalgo (0.75%), Jalisco (0.41%), Morelos (0.40%), Querétaro (0.43%), Quintana Roo (0.58%), Tamaulipas (1.49%), Veracruz (0.44%) y Yucatán (0.44%).

Ciclo de transmisión

Para que se complete el ciclo de vida del parásito es necesario un vector y un hospedero vertebrado. En el intestino craneal del vector se encuentra la forma parasitaria de epimastigote. En la región de intestino caudal se transforma el epimastigote a tripomastigote metacíclico el cual es eyectado en las heces del insecto tras alimentarse de sangre de un mamífero. El parásito depositado en la zona de la picadura entra el organismo a través de la herida causada por el vector en dónde se transforma en tripomastigote sanguíneo. El tripomastigote sanguíneo tiene la capacidad de infectar cualquier célula nucleada. Una vez dentro de la célula este pierde su flagelo y se transforma en amastigote. El amastigote es la forma intracelular replicativa del parásito. Los amastigotes se dividen por fisión binaria formando nidos dentro de la célula hasta que logran romperla y ser liberados de nuevo al torrente sanguíneo transformándose una vez más en tripomastigotes sanguíneos. Aquellos vectores que se alimentan del hospedero con tripomastigotes sanguíneos circulantes pueden ser infectados y así el ciclo de transmisión continua.



El parásito permanece en la naturaleza a través de ciclos silvestres de transmisión que involucran diferentes especies animales. En México, los más frecuentemente asociados a la amplificación del parásito son los armadillos, mapaches, coatíes, zarigüeyas y la rata de campo (*neotoma*). En la región Noroeste se debe de considerar a la zarigüeya, particularmente la especie *Didelphis virginiana* que, aunque no es considerada endémica de la zona norte, existen reportes de la presencia de la especie y podría representar un riesgo en la transmisión de la EC. Aunque no se reporta el establecimiento de una población en la zona, se conoce que, en el territorio colindante con el estado de Baja California, hablando del caso particular de la ciudad de San Diego, California; esta especie forma parte de la fauna urbana introducida y en esta ciudad si existe una población establecida.

Por otra parte, se desconoce si en la ciudad colindante con México (Tijuana), ocurre este mismo fenómeno, que puede propiciarse a causa del desplazamiento de los animales y/o a su llegada mediante vehículos de transporte de abasto con frutos provenientes del centro y sur del país. También, es importante considerar como riesgo el desmedido movimiento sin vigilancia sanitaria de mascotas nuevas de compañía (monos, erizos, petauros) los cuales provienen de criaderos del centro y sur del país. Estas especies se han reportado como posibles reservorios de *T. cruzi*, y su papel en la transmisión al humano aún no es conocido. Se requiere realizar estudios que permitan identificar su rol en la epidemiología de la enfermedad en el norte del país.

Por otra parte, en relación al ciclo de transmisión doméstico, éste se encuentra conformado por las especies animales que tienen estrecho contacto con el humano y en México el cerdo, perro y ganado bovino y la rata doméstica (*R. rattus*) se destacan como principales especies asociadas. Incluso, la presencia de infección en perros se asocia a la presencia de anticuerpos en los humanos de la vivienda.

En la región noroeste del país solo existen estudios de prevalencia en perros en el estado de Sonora México, en donde se informa una prevalencia de 4.4% en perros capturados en el centro de control animal. En el estado de Baja California el cuerpo académico de Vigilancia epidemiológica de enfermedades del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la UABC se encuentra realizando estudios al respecto, aunque por el momento no se tienen resultados disponibles.

Tratamiento

Desde hace 60 años se utilizan dos fármacos para su tratamiento (Nifurtimox y Benznidazol) y a pesar de los esfuerzos realizados en la investigación, aún no se han encontrado nuevos fármacos efectivos contra la enfermedad. La EC es curable si se



detecta durante la fase de infección aguda con mayores tasas de éxito en niños. En la fase crónica el medicamento puede ser administrado, pero con menores tasas de éxito y más efectos secundarios.

Diagnóstico

La prueba diagnóstica a realizar dependerá de la fase de infección en la que se encuentre el paciente. En la fase aguda se realiza la identificación del parásito mediante técnicas parasitológicas directas como: frotis sanguíneo, frotis de gota gruesa, micrométodo, hemocultivo, xenodiagnóstico y pruebas moleculares como PCR. En la etapa crónica la infección se detecta usando métodos indirectos para demostrar la presencia de anticuerpos específicos contra el parásito como ELISA, Hemaglutinación indirecta e Inmunofluorescencia indirecta.

Control

Las estrategias de control de la enfermedad se basan principalmente en el control de la transmisión vectorial intradomiciliaria, transmisión connatal y por transfusión sanguínea. Algunas medidas utilizadas para evitar la transmisión vectorial en México son promover mejoras en los hogares con materiales locales en paredes y techo. La colocación de malla mosquitera en puertas y ventanas, así como el uso de pabellones mosquiteros para camas en menores de 5 años y embarazadas. Controlar y eliminar refugios de triatomas intradomiciliarios y aplicación mediante rociado residual intradomiciliario en localidades confirmadas como positivas. Otras de las medidas realizadas que se enfocan en eliminar la transmisión de Chagas connatal y transfusional incluyen el tamizaje mediante pruebas serológicas y parasitológicas de control prenatal a todas las embarazadas que residan o migren desde regiones endémicas. Confirmar el diagnóstico en casos detectados mediante pruebas de tamizaje en el Centro Nacional de Transfusión Sanguínea, así como en los centros estatales. Realizar el tamizaje en los candidatos a donar sangre rechazados por factores de riesgo asociados a enfermedad de Chagas.

Fisiopatología de la cardiomiopatía chagásica

Los aspectos sobre la patogénesis del daño ocasionado por *T. cruzi* no están claros. Hasta el siglo pasado se creía que el daño cardíaco era ocasionado únicamente por la acción del parásito en los cardiomiocitos. Actualmente, se consideran diversos mecanismos que se encuentran interrelacionados y que en conjunto causan el daño orgánico como: daño directo causado por el parásito, la respuesta inmune-inflamatoria, autoinmunidad, anomalías microvasculares y el daño nervioso.

El uso de modelo de ratón para el estudio de la enfermedad de Chagas

La infección por *T. cruzi* desencadena principalmente una falla cardíaca y en algunos casos la muerte súbita. Los pacientes humanos infectados son usualmente



diagnosticados una vez que presentan signos cardíacos, lo que ocurre durante la fase crónica sintomática de la infección, y que puede ocurrir de 10-30 años posteriores a la infección. Por lo anterior, no se cuenta con suficiente información sobre la progresión de la cardiopatía chagásica en el humano. Los modelos animales como el ratón son una alternativa de bajo costo para conocer más sobre el desarrollo de la cardiomiopatía causada por esta enfermedad en un corto periodo de tiempo.

Las aportaciones de los autores en la ciencia para el estudio de la cardiopatía causada por *T. cruzi* son el uso del modelo de ratón, particularmente la cepa BALB/c y el grupo ICR, aplicando técnicas no invasivas como la electrocardiografía en animales conscientes, la ecocardiografía, señales Doppler y la ecografía de la cavidad abdominal, todo lo anterior para el entendimiento integral de la cardiopatía chagásica y el daño causado a otros órganos y sistemas.

La investigación sobre la enfermedad desde la multidisciplinariedad realizada en conjunto con ingenieros en sistemas computacionales, ingenieros biomédicos y matemáticos de instituciones colaboradoras como el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM, ha permitido el análisis avanzado de la información obtenida mediante algoritmos computacionales para la determinación de marcadores específicos que ayuden a identificar casos de infección y diferenciar aquellos que cursan la infección aguda y crónica. Por último, gracias al trabajo interinstitucional se encuentra en desarrollo un software de plataforma libre útil para la detección automática de nidos de amastigotes en cortes histopatológicos. El desarrollo tecnológico logrado es de gran utilidad para histopatólogos y no expertos, pues permite identificar automáticamente en imágenes de cortes histopatológicos de miocardio los nidos de amastigotes con una alta precisión y sensibilidad.

Conclusiones

La región Pacífico Norte o Noroeste de México comprende el 38% del territorio nacional y alberga a casi 13% de la población del país. En todos los estados del Noroeste de México existen casos de infección por *T. cruzi* en humanos; y la tasa de infección más alta del país la presenta el estado de Sinaloa. Un factor de riesgo importante para la diseminación de esta enfermedad lo representa la migración de jornaleros agrícolas que se mueven de zonas con alta endemicidad a zonas de escasa o baja prevalencia, por lo que los proveedores de atención médica en la región deben considerar la detección de la infección en pacientes con signos compatibles. La transmisión vectorial constituye un riesgo, dado que la mitad de las especies del vector transmisor de la enfermedad descritas en el país se encuentran presentes en esta región. Existen pocos estudios realizados sobre la enfermedad en el Pacífico Norte, por lo que dadas las implicaciones en la salud pública resulta necesario aumentar los estudios que se realizan para mejorar



la comprensión sobre la biología de los vectores y los ciclos de transmisión en la región, así como incrementar los esfuerzos para el diagnóstico de la enfermedad, y el diseño de estrategias de prevención y control de acuerdo a la situación epidemiológica de la región y los usos y costumbres de los pobladores.

Referencias

- Anguiano Tellez M. E. (1989). Trabajadores agrícolas migrantes en Baja California. Vinculación con la migración internacional. *Estudios Fronterizos*, Año VII, vol. IX, (20), 67-78.
- Arce-Fonseca M., Carrillo-Sánchez S. C., Molina-Barrios R. M., Martínez-Cruz M., Cedillo-Cobián J. R., Henao-Díaz Y. A. Rodríguez-Morales, O. (2017). Seropositivity for *Trypanosoma cruzi* in domestic dogs from Sonora, Mexico. *Infectious Diseases of Poverty*, 5;6(1), 120. doi:10.1186/s40249-017-0333-z
- Arnal, A., Waleckx E., Rico-Chávez O., Herrera C. Dumonteil E. (2019). Estimating the current burden of Chagas disease in Mexico: A systematic review and meta-analysis of epidemiological surveys from 2006 to 2017. *PLoS Neglected Tropical Disease*, 9;13(4). doi:10.1371/journal.pntd.0006859
- Bidaisee, S., Macpherson, C. N. L. (2014). Zoonoses and one health: a review of the literature. *Journal of Parasitology Research*, 874345. doi.org/10.1155/2014/874345.
- Pallares B. M. E. (2014). Estudio de la situación seroepidemiológica de la infección por TC en población de jornaleros migrantes en zona rural de Ensenada. [Tesis de Maestría], Universidad Autónoma de Baja California.
- Haro, P., López X, Hevia-Montiel, N., López-Valencia, G., Rosado-Vallado, M., Waleckx, E. (2021). Aplicaciones y potencial de las técnicas de diagnóstico por imagen en la investigación biomédica de la enfermedad de Chagas. *Revista Biomédica*, 32(1). doi.org/10.32776/revbiomed.v32i1.786
- Hevia-Montiel, N., Perez-Gonzalez, J., Neme, A., Haro, P. (2022). Machine learning-based feature selection and classification for the experimental diagnosis of *trypanosoma cruzi*. *Electronics*, 11 (5), 785. doi.org/10.3390/electronics11050785
- Haro P., Hevia-Montiel N., Perez-Gonzalez J. (2023). ECG marker evaluation for the machine-learning-based classification of acute and chronic phases of *trypanosoma cruzi* infection in a murine model. *Tropical Medicine and Infectious Disease Quartile*, 4;8(3), 157. doi:10.3390/tropicalmed8030157.



- InDRE. (2019). Lineamientos para la vigilancia por laboratorio de la enfermedad de Chagas (Tripanosomiasis americana) Díaz-Quinónez J.A. (ed.). Secretaría de Salud. (13 de octubre de 2022). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/483705/Lineamientos_Chagas_4T.pdf.
- INEGI. (2023). México en cifras (12 de Mayo de 2023). <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Indicadores>.
- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990-993.
- Novelo-Garza B. A., Benítez-Arvizu G., Peña-Benítez A., Galván-Cervantes, J., Morales-Rojas A. (2010). Detección de *Tripanosoma cruzi* en donadores de sangre. *Revista Médica Instituto Mexicano del Seguro Social*, 2010;48(2), 139-144.
- Organización Panamericana de la Salud. (2019). Guía para el diagnóstico y tratamiento del Chagas. (13 de octubre de 2022). https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14906:paho-issues-new-guide-for-diagnosis-and-treatment-of-chagas-disease&Itemid=1001&lang=es#gsc.tab=0
- Pech-Aguilar, A. G., Haro, P., Rosado-Vallado, M. E. (2020). Revisión actualizada sobre la fisiopatología de la cardiomiopatía chagásica. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58 (3), 328-334.
- Rojo-Medina, J., Ruiz-Matus, C., Salazar-Schettino, P. M., González-Roldán, J. F. (2018). Enfermedad de Chagas en México. *Gaceta Médica Mexicana*, 154, 605-12.
- World Health Organization. (2022). World Chagas Disease Day: finding and reporting every case. (18 de mayo de 2022). <https://www.who.int/news/item/34714-04-2022-world-chagas-disease-day-bringing-a-forgotten-disease-to-the-fore-of-global-attention>.
- Secretaría de Salud. Programa de Acción Específico Prevención y control de la Enfermedad de Chagas 2013-2018. gob.mx. (24 de mayo de 2023). <http://www.gob.mx/salud/documentos/programa-de-accion-especifico-prevencion-y-control-de-la-enfermedad-de-chagas-2013-2018>



Secretaria de Salud. Manual de procedimientos para la enfermedad e Chagas en México (2019). (12 de mayo de 2023). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/447946/Manual_de_Procedimientos_para_la_Enfermedad_de_Chagas_en_Mexico.pdf

SINAVE. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Único de Información. Dirección General de Epidemiología. Boletín Epidemiológico (2023). (12 de mayo de 2023). <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia-boletin-epidemiologico>.

Schmunis, G. A., Yadon, Z. E. (2010). Chagas disease: a Latin American health problem becoming a world health problem. *Acta Tropica*, 115, 14–21. doi.org/10.1016/j.actatropica.2009.11.003



Nutrición y alimentación de las abejas melíferas

Mauricio Arredondo Castro¹, Diana Angélica Gutiérrez Arenas¹, Carlos Alfredo Carmona Gasca², Henry Loeza Concha³, Arturo Ángel Hernández⁴, Fidel Avila Ramos^{1*}

¹División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Programa Educativo de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México. ²Unidad Académica de Medicina Veterinaria y ²Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, Compostela, Nayarit, México. ³Colegio de Postgraduados – Campus Campeche, carretera Haltunchén-Edzná 24450 Champotón, Cam. ⁴Universidad Politécnica Bicentenario. Carretera Silao-Romita Km. 2, San Juan de los Durán, Silao de la Victoria, Guanajuato, México. arredondo.m@ugto.mx, diana.gutierrez@ugto.mx, carmonagasca@yahoo.com.mx, loeza.jesus@colpos.mx, aangelh@upbcentenario.edu.mx, ledifar@ugto.mx*

Introducción

Las abejas necesitan un balance adecuado de nutrientes a través de su alimento para que puedan desarrollarse de forma adecuada. La nutrición de las abejas melíferas es esencial para su desarrollo; desde sus primeros días que inician su vida como un huevo en desarrollo, hasta los últimos días de su vida como abeja colectora de néctar. Durante su vida completa estos insectos necesitan ingerir aminoácidos, carbohidratos, proteínas y vitaminas para sobrevivir y reproducirse correctamente, sus deficiencias nutricionales van a determinar su resistencia y capacidad reproductiva en el desarrollo de la cría y como abejas adultas.

Las colonias de abejas se han clasificado como organismos complejos debido a la cantidad de insectos que integran una colonia, cuando inicia su desarrollo, su nido puede tener de 6,000 a 12,000 abejas, pero cuando es una colmena productiva, sus integrantes pueden llegar a 60,000 insectos o más en función de varios factores a los que encuentre sometida la colonia. Estos insectos necesitan un balance adecuado de nutrimentos a través de su alimento para el desarrollo de larvas y pupas, de esta forma al emerger como abeja adulta pueda desarrollarse de forma adecuada y a su nacimiento como abejas adultas puedan tener peso adecuado y sistema inmune que le brinden protección durante su vida con ello puedan vivir el mayor tiempo posible para trabajar en beneficio de su sociedad.

La vida de una abeja inicia en el momento que la abeja reina deposita un huevo en una celdilla, a partir de este momento inicia su vida y a los 21 días emergerá de la celdilla como abeja adulta pasando por su desarrollo embrionario en huevo, larva, pupa y adulto. Durante el desarrollo de las abejas se ha clasificado en dos partes, la primera comprende el periodo en que la cría se encuentra abierta y la segunda parte en el periodo en que la cría se encuentra cerrada u operculada (tapada con cera) para emerger como abeja adulta que podemos observar al volar a nuestro alrededor.



Para que la abeja pueda emerger como abeja adulta de la celdilla debe ser cuidada y alimentada por sus hermanas, luego de emerger como larva del huevo ovopositado por la reina las abejas nodrizas son las encargadas de alimentar a las abejas en desarrollo con una sustancia parecida a una gelatina suave llamada jalea secretada por sus glándulas hipofaríngeas. La sustancia mencionada es diferente en su contenido de azúcares comparada con la jalea real que consume la reina y es producida por las abejas que tienen de tres a seis días de edad aproximadamente.

A las abejas de seis días se les llama abejas nodrizas, su tarea es alimentar a la abeja reina, en caso de existir abejas reinas en desarrollo y a los zánganos en los primeros tres días de edad, posteriormente los zánganos serán alimentados con miel durante el resto de su vida. A los nueve días de edad las abejas cuidan de la reina debido a que sus glándulas hipofaríngeas y mandibulares tienen la capacidad de secretar jalea real para alimentarla. Posteriormente, las abejas obreras mayores a 13 días se dedican a la construcción de panales debido a la maduración de sus glándulas ceripáricas que tienen entre sus segmentos abdominales, además, colaboran para almacenar polen y néctar en la colmena, en caso de existir celdas llenas de miel las operculan con cera.

El polen que recibe la colmena se almacena en las celdillas que rodea a la cría, de forma similar las abejas colocan propóleo en todos lados para mantener un ambiente estéril de la colmena, defienden a la colmena o ayudan a mantener su adecuada temperatura y finalmente salen a pecorear durante el resto de su vida que es de unos 40 días. Sin embargo, desde que inicia la vida de las abejas como larvas estos insectos deben alimentarse hasta el momento que terminan su ciclo productivo. Por lo tanto, el objetivo de la siguiente revisión es integrar las necesidades de las abejas relacionadas con sus funciones biológicas y su alimentación.

Alimentación en abejas

La abeja, como todos los seres vivos sobre la tierra, necesitan para vivir proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas, minerales y agua. Los glúcidos o hidratos de carbono los obtienen principalmente de la miel y el resto de los nutrientes son obtenidos al alimentarse de polen el cual es indispensable para su crecimiento, desarrollo y reproducción. Sin embargo, existen temporadas donde hay escasez de floración y por ello surge la necesidad de hacer uso de la alimentación artificial, por lo que, los apicultores deben proporcionar alimento sustituto para evitar el déficit alimenticio y con ello evitar el abandono o migración de la colonia, lo que causaría pérdidas económicas. Además, que los efectos de la desnutrición es una causa predisponente para la aparición de enfermedades. Para evitar la pérdida de colmenas, por desnutrición o abandono, el apicultor le debe proporcionar a las abejas dietas o polen con un porcentaje de proteína cruda superior al 20%, que contenga los aminoácidos esenciales que cumplan con los



requerimientos necesario de las abejas, ya que ello se verá reflejado en un aumento de la población y por consecuencia una mayor productividad.

La alimentación artificial de las colonias es fundamental para la supervivencia de las mismas, específicamente en épocas de estiaje conocidas como pre-cosecha y post-cosecha. La alimentación en la pre-cosecha es fundamental para el estímulo de las colonias previo a la época de cosecha, debido que la administración de dietas proteicas y energéticas, estimulan a las reinas para aumentar su postura, es decir, si la población de abejas aumenta, también la producción de miel incrementará exponencialmente, del mismo modo, en la post-cosecha la alimentación artificial juega un papel importante para la supervivencia de las colonias debido a que esta época su almacenamiento de recursos alimenticios (miel) han sido retiradas por los apicultores para su venta.

Efecto de la desnutrición de las colonias

Cuando se observa poco polen en las colmenas, estas tienen pocas crías, hay suspensión de la postura de la reina, larvas con mal crecimiento, abejas nodrizas sin formación glandular, canibalismos de larvas, disminución del ritmo, la organización de la colonia, la formación muscular en las alas y en las abejas mayores se ve afectado el desarrollo de las glándulas de cera ya que las abejas obreras necesitan de 6 a 7 kg de miel para producir 1 kg de cera por lo cual hay pérdida de cosecha por falta de desarrollo de panales labrados por las abejas, además que la falta de disposición de nutrientes de manera natural o una dieta mal formulada con bajos niveles de aminoácidos y proteínas causa inmunodeficiencia y reduce la vida promedio de las abejas.

Beneficios de la suplementación

La suplementación de colonias en épocas de baja disposición floral es beneficiosa debido a que asegura un desarrollo constante de las colonias ya que contribuye a mantener la densidad de la población en lugares y épocas con escasez de alimentos. De tal modo las dietas suplementarias tienen el propósito de proporcionar las proteínas, lípidos, carbohidratos y vitaminas fundamentales para la cría durante un largo período de escasez y cuando hay condiciones climáticas adversas. para el desarrollo de las abejas, es decir, que una dieta optimizada favorece la postura de la reina, disminuye la pérdida de peso de las abejas, permite mantener poblaciones de abejas abundantes y por ende una mayor productividad.

Tipos de alimentación

Las abejas requieren de dos tipos de alimentación, la primera conocida como alimentación proteica y la segunda como alimentación energética, la primera es fundamental en época de estiaje cuando no se encuentra disponibilidad de recursos para la supervivencia de las colonias, por lo que es fundamental proporcionar dietas proteicas;



para ello se han utilizado infinidad de fórmulas donde se ha utilizado como ingredientes la harina de soya, harina de maíz, harina de chaya, harina de moringa, así como ingredientes de origen animal como la leche de vaca y el huevo, esto tiene la finalidad de proporcionar a las colonias de las proteínas necesarias para cumplir con los requerimientos nutricionales de las abejas, la segunda, se proporciona en base líquida y pueden ser de dos tipos, alimentación de mantenimiento, la que consiste en alimentar a las colonias en una proporción 1:1 (1 kg de azúcar por 1L de agua), esta alimentación es recomendada ser suministrada en la post-cosecha. La alimentación de estímulo se da en una proporción 2:1 (2kg de azúcar por 1L de agua) esta alimentación es recomendada aplicarse en época de pre-cosecha y en compañía de una torta proteica.

La alimentación de mantenimiento es aquella que se les proporciona a las abejas para que sobrevivan y no mueran debido a la falta o escases de fuentes naturales de suministros que aportan las floraciones. Mientras que la alimentación de estímulo se les da a las abejas con la finalidad de estimular la postura de la reina para iniciar el crecimiento del nido para aprovechar el abundante flujo de néctar de la floración en determinado periodo de tiempo acorde a la floración. El manejo mencionado favorece la cantidad adecuada de abejas para las funciones de las abejas; almacenar polen, polinizar los cultivos, reproducción de las colonias, reforzar colmenas usadas para producir reinas o núcleos, reproducción de zánganos, coleccionar grandes reservas de néctar o que las abejas puedan tener un estado de salud adecuado para soportar las condiciones ambientales o insecticidas del ambiente.

En la actualidad, alimentar a las abejas se ha hecho una práctica común por los apicultores debido a que los monocultivos limitan la diversidad de las flores y las abejas no encuentran comida. Además, las flores que visitan las abejas han limitado su diversidad, por lo tanto, es posible que la diversidad microbiológica de su sistema digestivo pueda estar afectada o limitada a menor diversidad biológica. Sin dejar a un lado las diferentes fuentes de pólenes que en su conjunto pudieran ofrecer a las abejas una dieta rica de aminoácidos debido a su propia variación de origen.

Proteínas

Las abejas obtienen las proteínas del polen, básico en el desarrollo de las larvas, gracias a que está constituido por 11% de lípidos, 14% de glucosa, 19% de fructosa, 23% de proteína, 36% de otros azúcares y 11% de agua además que contiene vitaminas del complejo B, D, E, K, A y minerales como el potasio, fósforo, yodo, calcio, cobre, magnesio, zinc, así como enzimas, reguladores del crecimiento, ácidos grasos, ácidos orgánicos y flavonoides, así mismo, el polen provee a las abejas de 10 aminoácidos esenciales para su desarrollo entre los que destacan la treonina 3%, valina 4%, metionina 1.5%, leucina 4.5%, isoleucina 4%, fenilamina 2.5%, lisina 3%, arginina 3%, histidina 1.5%



y triptofano 1%. El polen es la principal fuente de proteínas por lo que es fundamental para alimentar a la cría de las abejas, proporcionar las reservas grasas a las hembras adultas y para que las abejas nodrizas produzcan una jalea real de calidad.

El polen

El polen es el nombre general que se le ha dado al polvo que producen las plantas que se encuentra en el saco polínico de la planta. El peso promedio de dos granos de polen que transporta una obrera puede ser de 7 a 8 mg, una larva de abeja requiere 30 mg de proteína equivalente a 150 mg de polen. Una colonia puede coleccionar de 10 a 16 kg de polen por año.

Las abejas recogen estos gránulos al momento que pasan a buscar el néctar de las flores y los combinan con sus enzimas bucales para depositarlos en las celdillas que rodean a la cría en desarrollo. Para el sellado y almacenamiento del polen las abejas ponen una capa de miel sobre el polen colocado en las celdillas que le permite mantenerlo en un proceso químico anaerobio, las abejas jóvenes de tres a seis días lo pueden masticar, comer y distribuir sobre la cría en desarrollo antes de ser operculada. Por lo tanto, una colmena que tiene mayor cantidad de cría puede coleccionar más polen por la presencia de la ferohormona de la cría o de la reina.

Por su origen y contenido el polen se convierte en la principal fuente de proteína, aminoácido, lípidos y vitaminas para las abejas. Por lo tanto, el polen se convierte en el llamado pan de abeja: aminoácidos digeribles de los cuales las abejas obtienen sus proteínas, aminoácidos esenciales y no esenciales necesarios y digeribles para que estos insectos puedan desarrollarse a partir de los huevos que ovoposita la reina. Sin embargo, en la actualidad la baja diversidad del polen puede ocasionar diferentes deficiencias nutricionales en las crías de abejas que al desarrollarse como abejas adultas permanecen en la misma situación.

De acuerdo a su origen el polen puede tener muchos colores, formas y texturas, además, su contenido en cantidad de proteína cruda y aminoácidos varía de la misma forma. El polen puede contener del 6 al 54% de proteína cruda de acuerdo a su fuente de origen, es una estructura compleja que puede vivir mucho tiempo en el ambiente. Tiene una pared externa hecha de esporopolinina un politerpeno no permeable y resistente a agentes químicos, además, tiene una pared interna química formada de celulosa.

El grano de polen varía en tamaño, forma, número de aberturas y textura de su superficie, características que le permiten clasificarlo a nivel de género de la planta o especie de procedencia, la cantidad y tipo de polen tienen efectos directos sobre las variables productivas y reproductivas de los insectos. Normalmente el polen contiene casi los 10



aminoácidos esenciales, sin embargo, no es una regla que estos compuestos puedan existir en todos los gránulos de polen de las plantas. Pero las abejas necesitan por lo menos el 2% de la composición de la dieta de histidina, metionina y triptófano, los otros siete aminoácidos esenciales se requieren en mayor cantidad. Por lo tanto, la limitada diversidad actual de flores puede ocasionar en las abejas en reproducción problemas nutricionales que limitan su condición fisiológica y productividad de por vida.

Carbohidratos

Una abeja obrera necesita 11 mg de azúcar por día si a las abejas se les proporciona jarabe de azúcar a una concentración del 50% cada abeja obrera requiere 22 micro litros, si es un núcleo con una población de 10,000 abejas, la colonia necesita 220 mL de jarabe cada 24 horas y si es una colonia de 25,000 necesitará 550 mL de jarabe a la misma concentración, pero esa administración de jarabe. En larvas las necesidades son de 59.4 mg de carbohidratos durante el desarrollo de la abeja. Las abejas que van al campo a coleccionar néctar pueden transportar aproximadamente 25.5 mg de néctar a la colmena que corresponde al 20% de su peso vivo en cada viaje.

La miel

La miel es una sustancia natural dulce y viscosa almacenada por las abejas en épocas de abundancia de néctar para las temporadas de escases de alimento. Las abejas al coleccionar el néctar de las flores (sacarosa) adicionan invertasa y glucosa oxidasa a través de secreciones salivares para dar origen a glucosa y fructuosa, las abejas colocan la sustancia mencionada en las celdillas y remueven su humedad hasta el 17 – 18% para tener miel.

La miel es una mezcla compleja de agua (17%), carbohidratos (83%, 38% fructuosa, 31% glucosa, 1.5% de maltosa y 13% otros azúcares) y 0.5% de proteínas, aminoácidos, ácidos orgánicos, minerales, vitaminas y una gran cantidad compuestos menores que le dan su actividad biológica. Sin dudar, la miel es el recurso ideal de las abejas para obtener su energía, además, contiene una variedad de compuestos naturales de alto valor biológico para los insectos. Una larva de abeja necesita 142 mg de miel para su desarrollo y la colonia necesita de 60 a 80 kg.

Jarabe de azúcar

Las abejas han sido alimentadas con jarabe de azúcar (sacarosa) es un sistema de alimentación tradicional que los apicultores han usado de forma genérica durante los últimos 50 años. La sacarosa es la unidad básica de la azúcar, es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructuosa obtenida de la caña de azúcar. Si consideramos que la miel tiene fructuosa y glucosa, el azúcar puede tener una estructura similar, pero para que el cuerpo de la abeja lo pueda absorber debe ser fracturado el



enlace O-glucosídico por la sacarasa (invertasa) para digerirse que en las abejas esto se convierte en gasto de energía. Por otro lado, el jarabe de azúcar, carece de todos demás cofactores y componentes menores que le dan a la miel su poder biológico tanto nutritivo como saludable que deben ser adicionados a los alimentos de las abejas.

Jarabe de alta fructuosa

El jarabe de maíz de alta fructuosa también conocido como jarabe de glucosa-fructuosa es usado para la producción de bebidas y postres en la industria de los alimentos. El jarabe de alta fructuosa aumenta el sabor dulce de los alimentos, al usarlo para las abejas asemeja el sabor de la miel, pero es obtenido del almidón. Motivo por el cual su disponibilidad y precio es más económico, pero de primera elección para los apicultores. Sin embargo, carece de todos los beneficios directos saludables de la miel que se tienen que sustituir por elementos sintéticos.

Minerales

Existen minerales en la miel de la cual se alimentan las abejas, normalmente se pueden incluir el sodio, calcio, potasio, magnesio, fósforo, selenio, cobre, hierro, manganeso, cromo y zinc obtenido de las plantas que las abejas visitan. De forma general, las mieles oscuras contienen más minerales comparadas con las mieles claras y los requerimientos minerales para las abejas no se han estudiado lo suficiente y se conoce poco sobre ellos. Pero se ha reportado que el mejor aprovechamiento de la cantidad de cenizas en el polen es del 0.5 al 1.0%, si el polen contiene más del 2% de cenizas puede inhibir la producción de la cría en la colmena.

Vitaminas

Las vitaminas reportadas en la miel son la tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3) ácido pantoténico (B5), piridoxina (B6), ácido fólico (B9) y ácido ascórbico (C) en mg/100g de miel destacando su contenido el ácido ascórbico que es el más abundante y puede llegar a 2.5 mg/100g en miel.

Agua

Para las abejas el agua es el principal nutriente que no puede faltar y la usan para diferentes funciones de la colmena de acuerdo a la época del año o necesidad de la colmena y es transportada en el canal digestivo anterior (buche de la miel) de las abejas. Las abejas usan el agua como recurso biológico para hidratarse de forma directa, pero indirectamente, ellas necesitan el agua para hidratar la miel que se puede endurecer en las celdillas y que pueden disponer ella nuevamente para alimentarse.

Además, el agua es usada en la colmena para mantener la humedad de sus crías y el ambiente; las abejas llevan agua obtenida en el campo y la esparcen sobre los bastidores,



posteriormente crean un sistema de ventilación que le va permitir al nido mantener la correcta humedad y si es mayor a la requerida las abejas sacaran la humedad a través de la ventilación directa en la piquera. Normalmente, si la temperatura de la colmena es superior a los 35° C realizaran la actividad mencionada.

Alimentos balanceados

Se ha determinado de forma general a través de diferentes estudios que las abejas necesitan alimentos balanceados que aporten de forma directa del 18 al 22% de proteína cruda con los diez aminoácidos esenciales. Las necesidades de los aminoácidos no han sido determinados con exactitud, pero se han propuesto la proporción en %: arginina 2.4, histidina 1.7, isoleucina 4, leucina 4.3, lisina 2.4, metionina 1.8, fenilalanina 2.2, treonina 2.4, triptófano y valina 3.8.

En la actualidad se venden formulas en diferentes presentaciones, sin embargo, los alimentos no han mostrado ser muy eficientes en los diferentes tamaños de colmenas y normalmente sólo se pueden proveer a unidades fortalecidas que tengan necesidad de consumirlos. Mientras que en las abejas que se encuentran en reproducción es más complicado que lo puedan consumir por su presentación y población general de las abejas. Estos detalles técnicos encontrados son evidentes para establecer suministros en presentaciones más adecuadas para las abejas.

Suplementos vitamínicos

En el mercado podemos encontrar complejos vitamínicos estimulantes concentrados para satisfacer las carencias alimenticias o correcciones nutricionales de las abejas. Estos formulados son enriquecidos con vitaminas A, D3, k3 y vitaminas del complejo B como es B1, B2, B6, B7, B12, B15 y aminoácidos como alanina, arginina, cistina, fenilalanina, glicina e histidina.

Conclusiones

Las abejas pueden obtener todos sus nutrientes de la naturaleza si existen las condiciones adecuadas en el ambiente, sin embargo, en la actualidad la producción intensiva y limitada diversidad limitan su desarrollo. Las abejas necesitan adecuada ingestión de carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales disponibles para la cantidad de cría, mejorar su longevidad y salud. La adición de suplementos alimenticios para estimular el crecimiento, mantenimiento y reproducción de la colonia es indispensable e incrementa de forma directa los costos productivos.



Referencias

- Alqarni, A. S. (2006). Influence of some protein diets on the longevity and some physiological conditions of honeybee *Apis mellifera* L. workers. *Journal Biological Sciences*, 6: 734-737. doi.org/10.3923/jbs.2006.734.737
- Aupinel, P., Fortini, D., Dufour, H., Tasei, J. N., Michaud, B., Odoux J. F., Pham-Delègue M. H. (2005). Improvement of artificial feeding in a standard in vitro method for rearing *Apis mellifera* larvae. *Bulletin of Insectology*, 58: 107-111. <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol58-2005-107-111aupinel.pdf>
- Ahmed, Z, Tawfik Al, Abdel-Rahman M, Moustafa A. (2020). Nutritional value and physiological effects of some proteinaceous diets on honey bee workers (*Apis mellifera* L.). *Bee World*, 97(1): 26-31. doi.org/10.1080/0005772X.2019.1672983
- Avni, D., Hendriksma, H., Dag, A., Uni, Z., Shafir, S. (2014). Nutritional aspects of honey bee-collected pollen and constraints on colony development in the eastern Mediterranean. *Journal of insect physiology*. 69: 65-73. Brodschneider, R., Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41: 278-294. doi.org/10.1051/apido/2010012
- Buñay, P. M. (2018). Efecto de la alimentación artificial en abejas *Apis mellifera* mediante la utilización de leche en polvo desnatada y jarabe de azúcar. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Pp. 3-11. Consultado en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/8144>
- Burgos, M. A. (2012). Comparación de la producción de polen con tres fuentes alternativas de proteína en la dieta de *Apis mellifera* Tesis de licenciatura. Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador. Pp. 5-32. Consultado en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/336>
- Carrillo, M., Kadri, S., Veiga, N., Orsi, R. (2015). Energetic feedings influence beeswax production by *Apis mellifera* L. honeybees. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 37: 73-76. doi.org/10.4025/actascianimsci.v37i1.24191
- Crailsheim, K. (1990). The protein balance of the honey bee worker. *Apidologie* 21(5): 417-429. doi.org/10.1051/apido:19900504



- Córdova, M. V. (2017). Evaluación de fuentes proteicas en la alimentación de las abejas (*Apis mellifera*). Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica Ambato. Cevallos, Tungurahua, Ecuador. Pp. 3-15 Consultado en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25081>
- Cuevas, R. J. (2017). Composición química, contenido de aminoácidos y perfil de ácidos grasos del polen colectado por abejas *Apis mellifera* L. en el estado de Morelos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Temascaltepec, Estado de México, México. Pp. 10-39. Consultado en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/68850>
- Farjan M, Dmitryjuk M, Lipiński Z, Biernat-Łopieńska E, Żółtowska K. (2012). Supplementation of the honey bee diet with vitamin C: the effect on the antioxidative system of *Apis mellifera carnica* brood at different stages. *Journal of Apicultural Research*, 51(3): 263-270. doi:10.3896/IBRA.1.51.3.07
- Keller I, Fluri P, Imdorf A. (2005). Pollen nutrition and colony development in honey bees—Part II. *Bee World*. 86(2): 27-34. doi.org/10.1080/0005772X.2005.11099650
- Wright, G. A., Nicolson, S. W., Shafir S. (2018). Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annual Review of Entomology*, 63, 327-344. doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043423



Parámetros genéticos en características de conformación en cabras lecheras

Alma Arianna Lechuga Arana¹, Vielka Jeanethe Castañeda Bustos², César Andrés Ángel Sahagún³,
Mauricio Valencia Posadas^{3*}

¹Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, plantel Cuerámara, Domicilio conocido s/n Cuerámara, Guanajuato, México, CP 36960. ²Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Baja California, México. ³Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato Salamanca, División de Ciencias de la Vida. ExHacienda El Copal, Irapuato, Gto. CP 36824. alma.arana@ugto.mx, iazvielkajcb@yahoo.com.mx, csahagun@ugto.mx, posadas@ugto.mx*

Introducción

Con el propósito de buscar el incremento de la productividad en las unidades de producción caprinas para poder satisfacer las exigencias del mercado y de los consumidores, una de las diversas estrategias para esto, es la implementación de un programa de mejoramiento genético, el cual se fundamenta, entre otras herramientas, en la selección.

Los requisitos básicos para la organización de cualquier programa de selección de cabras lecheras son la identificación de los animales, el control genealógico y la medición de características importantes como la producción de leche, la calificación de características de conformación, entre otras. En la especie caprina, pocos programas de selección están tan organizados como los existentes en el ganado bovino. Hay pocos estudios sobre el desarrollo de programas integrales de mejoramiento genético para cabras lecheras, la mayoría de los cuales se encuentran en países europeos. Algunos países como Francia han sido pioneros en una industria muy bien organizada de producción, procesamiento, comercialización, promoción e investigación de leche de cabra, que ha creado consumidores y un mercado sólido como en ningún otro país, para el beneficio general de la nutrición humana y para los productores de leche de cabra. Los programas de mejoramiento generalmente son operados por un grupo de criadores de ganado organizados en una asociación, una entidad comunitaria u otro organismo colectivo, por una gran empresa de cría comercial o por el gobierno.

Algunos de los criterios de selección comúnmente utilizados en cabras lecheras se pueden clasificar como: características primarias o de producción (leche, grasa y proteína) por el valor económico relativo que representan para los productores, mientras que las características secundarias son aquellas que permiten incrementar la calidad de los productos, reducir los costos de producción y mejorar la adaptación de los animales, entre ellas están, las características de conformación o tipo, como la facilidad de ordeño que está relacionada a la resistencia a la mastitis y que indirectamente puede ser



monitoreada a través de la medición del recuento de células somáticas y la conformación de la ubre. Las características de tipo se relacionan con la funcionalidad y la duración de la vida productiva del animal.

El potencial de mejora genética en las características de importancia económica en cabras lecheras, en buena medida depende de las estimaciones de los parámetros genéticos y fenotípicos, los cuales permitirán, desarrollar índices de selección económicos para múltiples características, así como la obtención precisa e insesgada de los valores genéticos predichos y predecir las respuestas a la selección directa y correlacionada. Estos parámetros genéticos son la heredabilidad, las correlaciones genéticas y fenotípicas, así como la repetitividad.

El mejoramiento genético en los caprinos lecheros en países como Francia, Estados Unidos y Canadá, tiende a efectuarse con base en una selección de múltiples características como criterios de selección, que incluyen tanto rasgos productivos, como producción de leche, grasa y proteína, así como también rasgos funcionales, como supervivencia, reproducción, salud y de conformación, para mejorar la eficiencia económica de las unidades de producción.

Parámetros genéticos

Para efectuar un programa de mejoramiento genético en una población animal, y hacer posible el desarrollo de índices de selección para múltiples características, es necesario estimar las varianzas, covarianzas y calcular la heredabilidad, la repetibilidad y las correlaciones genéticas y fenotípicas en aquellas características que serán incluidas en el índice.

Heredabilidad (h^2)

Es un parámetro poblacional que permite para un carácter determinado establecer la importancia relativa del medio ambiente y la herencia en la variación del fenotipo. Su valor es afectado por cualquier cambio en los componentes de varianza, incluyendo las genéticas. El valor de este parámetro va de 0 a 1.

La h^2 puede ser definida en sentido amplio y estrecho. En un sentido amplio, se define como la proporción de varianza fenotípica que se debe a las diferencias genotípicas entre individuos.

Este tipo de h^2 incluye todos los efectos de la herencia completa de cada individuo, es decir, además de las variaciones debidas a la acción genética aditiva, las causadas por dominancia y epistasia.

La h^2 en el sentido estrecho es la fracción de la varianza fenotípica que se debe a la acción genética aditiva.



La h^2 se define a partir de la ecuación:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_f^2}, \text{ donde:}$$

σ_a^2 = varianza genética aditiva

σ_f^2 = varianza fenotípica; de manera que

$$\sigma_f^2 = \sigma_a^2 + \sigma_e^2$$

La heredabilidad (h^2) es esencial para la estimación de los valores genéticos predichos y para predecir las respuestas a la selección.

Repetibilidad (r)

La repetibilidad, expresa la proporción de la varianza de las mediciones simples que es debida a diferencias permanentes, entre individuos; diferencias de origen genético y ambiental. Puede ser útil tanto en la estructura de los índices de selección como para predecir la capacidad de producción para futuros registros.

La repetibilidad puede estimarse a partir de la ecuación:

$$r = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2}{\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2}, \text{ donde:}$$

σ_a^2 = Varianza genética aditiva

σ_{pe}^2 VE = Varianza de ambiente permanente

σ_e^2 VP = Varianza de error o residual

Entonces para este caso, $\sigma_f^2 = \sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$

La estimación de la repetibilidad de un carácter separa el componente de varianza debida al ambiente, pero deja el otro componente de varianza ambiental la debida al ambiente general.

Correlaciones genéticas (rG) y fenotípicas (rF)

Muchas de las características en los animales no son independientes, es decir, se encuentran correlacionadas. El conocimiento del signo y el grado de dichas correlaciones es importante en la formulación de planes eficientes de selección. En estudios genéticos es necesario distinguir dos causas de correlación entre caracteres: genética y ambiental. Si ambos caracteres tienen una baja heredabilidad, la correlación fenotípica se determina fundamentalmente por la correlación ambiental, y si poseen una elevada heredabilidad, la correlación genética es la más importante.

La pleiotropía es la principal causa genética de la correlación. La pleiotropía es la propiedad de los genes sencillos de afectar dos o más caracteres de manera que si el gen está segregando, causa variación simultánea en los caracteres que afecta.

$$r_g = \frac{Cov(A1A2)}{\sqrt{\sigma_{A1}^2 \sigma_{A2}^2}}, \text{ donde:}$$



$Cov(A1A2)$ = Covarianza entre el valor genético aditivo de la característica 1 con el valor genético aditivo de la característica 2

σ_{A1}^2 = Varianza genética aditiva de la característica 1

σ_{A2}^2 = Varianza genética aditiva de la característica 2

Se pueden distinguir tres tipos de correlaciones:

La correlación fenotípica entre dos características considera la relación genética, así como la relación ambiental. El componente ambiental de la correlación resulta de un ambiente compartido por dos características. Este componente no afecta la asociación entre las características de la siguiente generación. La correlación fenotípica está determinada por las mediciones de los dos caracteres.

$$r_p = \frac{Cov(P1P2)}{\sqrt{\sigma_{P1}^2 \sigma_{P2}^2}}, \text{ donde:}$$

$Cov(P1P2)$ = Covarianza entre el valor fenotípico de la característica 1 con el valor fenotípico de la característica 2

σ_{P1}^2 = Varianza fenotípica de la característica 1

σ_{P2}^2 = Varianza fenotípica de la característica 2

Estimados de parámetros genéticos en caprinos lecheros

En Estados Unidos de América existen diversos estudios realizados para la estimación de parámetros genéticos en caprinos, esto, gracias a los datos de producción (leche, grasa y proteína) que son recolectados a través de la información del rebaño lechero (por sus siglas en inglés DHI, Dairy Herd Information) y procesados por el Laboratorio de Programas de Mejoramiento (por sus siglas en Ingles, AIPL, Animal Improvement Programs Laboratory) y de los datos de características de conformación y pedigrí proporcionados por la Asociación Americana de Cabras Lecheras (American Dairy Goat Association, ADGA).

En España y Francia, también se cuenta con estudios realizados en diferentes poblaciones de cabras lecheras sobre la estimación de parámetros genéticos involucrando características de producción (leche, grasa y proteína).

En México, se han realizado investigaciones para la estimación de heredabilidades, repetibilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas para características de producción en cabras raza Saanen, así como para la habilidad de permanencia en cabras raza Alpina, tanto para rebaños nacionales como de los Estados Unidos de América (EUA) en razas Alpina, La Mancha, Nubia, Oberhasli, Saanen y Toggenburg.

En bovinos y caprinos lecheros, la mayor parte de las investigaciones sobre estimación de parámetros genéticos para diferentes características de producción conformación y longevidad, se ha utilizado la metodología REML (del inglés Restricted Maximum Likelihood).



Métodos de estimación de parámetros genéticos

Uno de los procedimientos más utilizados para estimar las varianzas y covarianzas en distintas características y diferentes especies animales es REML, con el uso de un modelo animal, en el cual se evalúan simultáneamente hembras y machos, efectos ambientales tales como hatos-año-estación y la selección se puede optimizar utilizando el pedigrí disponible y los registros de producción, conformación, etc.

El procedimiento REML debido a sus óptimas propiedades estadísticas, mantiene los estimadores de (Co)varianzas dentro del espacio paramétrico y corrige el sesgo por selección cuando el pedigrí está completo.

La estimación de los parámetros genéticos se ha realizado con modelos entre y a través de razas, por ejemplo, en Estados Unidos de América realizaron una investigación, cuyo objetivo fue comparar un sistema de evaluación de todas las razas con evaluaciones previas dentro de razas en ganado bovino lechero, ya que los programas nacionales de evaluación genética se modificaron para incluir datos de animales cruzados. El modelo de raza desarrollado fue similar al utilizado para las evaluaciones de cabras estadounidense, mostrando que las diferencias genéticas entre las razas parecían estimarse bien, y la convergencia era bastante rápida, lo que indicaba suficientes conexiones dentro del rebaño entre los grupos de pura raza y cruzados.

La evaluación conjunta de todas las razas y animales cruzados puede proporcionar más información, pero no cambia en gran medida la clasificación de los animales que tienen compañeros de rebaño y la mayoría de los parientes de la misma raza. Los cambios fueron mayores para las razas con poblaciones pequeñas, otro beneficio del modelo multi-raza es que las diferencias de raza se estiman y actualizan rutinariamente.

Características lineales de conformación

Las características de conformación son parte de los criterios o índices de selección recomendados en distintos países que combinan evaluaciones genéticas de características de producción, conformación y otras características, con el fin de evaluar el mérito económico total de los animales con fines de selección.

En los Estados Unidos de América, fue hasta 1986 cuando se comenzaron a realizar anualmente las evaluaciones genéticas para puntaje final (PFI) en diversas razas y desde 1989 para las 13 características lineales de conformación (CLC) que incluyen: estatura (EST), fortaleza (FOR), carácter lechero (CLE), ángulo de la cadera (ANC), ancho de la cadera (ACA), patas traseras vistas por atrás (PTL), ligamento delantero de la ubre (LDU), altura de la ubre posterior (ALU), arco de la ubre (ARU), ligamento medio suspensorio (LMS), profundidad de la ubre (PDU), colocación de pezones (CPE) y diámetro de los pezones (DPE), actualmente, las evaluaciones se obtienen anualmente y se



proporcionan a la ADGA.

El sistema de evaluación para características lineales de conformación (CCL) de la ADGA evalúa cada característica individualmente, que tenga importancia económica, y sea al menos moderadamente heredable y, evalúa cada rasgo observado de un extremo biológico al otro, asignando un puntaje o calificación que va de 1 a 50 puntos, mientras que el puntaje final se evalúa de 50 a 99 puntos basado en la importancia otorgada a cada una de las categorías estructurales, que son: aspecto general (35%), carácter lechero (20%), capacidad del cuerpo (10%) y sistema mamario (35%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características evaluadas en la apreciación lineal de la Asociación Americana de Cabras Lecheras de Estados Unidos de América.

Forma	Características primarias		Característica secundaria
	Estructurales	Glándula mamaria	
Estatura (EST)	Ángulo de la cadera (ANC)	Ligamento delantero de la ubre (LDU)	Ubre posterior vista de lado (UPL)
Fortaleza (FOR)	Ancho de la cadera (ACA)	Altura de la ubre posterior (ALU)	
Carácter lechero (CLE)	Patas traseras vistas por atrás (PTL)	Arco de la ubre posterior (ARU)	
		Ligamento medio suspensorio (LMS)	
		Profundidad de la ubre (PDU)	
		Colocación de pezones (COP)	
		Diámetro de los pezones (DIP)	

*Se incluye en la lista la variable puntos finales.

El sistema de evaluación de las CLC no considera la edad, el manejo o el medio ambiente o la etapa de lactancia en la que se encuentren los animales. Para el caso particular de la raza miniatura (Enana Nigeriana), el sistema de apreciación lineal contempla la aplicación de una escala de ajuste (considerando los estándares raciales de la EN) con base en una escala estándar que se utiliza para las demás razas, para EST, ANC, PDU y DPE. Para EST la escala en razas miniatura (EN), va de 17" a 25", mientras que el factor de ajuste en la escala estándar es de + 9" para la asignación de una calificación lineal de 5 a 45 puntos. Para ANC, la escala va de 4.5" a 6.5" en raza miniatura, para la



asignación de un puntaje lineal, por cada 0.25" el factor de ajuste para la escala estándar es 0.5" por cada 0.25 acumulada en la escala miniatura, para PDU la escala en razas miniatura va de -1" a 3", siendo el factor de ajuste de -0.5 a 1" por cada -0.25 a 0.5 de la escala miniatura. Para DPE, un pezón muy estrecho en la escala estándar ($\frac{1}{2}$ ") el equivalente a una escala miniatura es de $\frac{1}{4}$ o menos de diámetro y se le asignan 5 puntos o menos; un pezón que tiene un diámetro intermedio de $1\frac{1}{2}$ "(estándar) o $\frac{3}{4}$ " (miniatura) se le asigna 25 puntos; y un pezón que es muy ancho $2\frac{1}{2}$ "(estándar) $1\frac{1}{4}$ " (miniatura) o más de diámetro se asigna a 45 o más puntos. Una diferencia de $\frac{1}{2}$ " (estándar) $\frac{1}{4}$ " (miniatura) en el diámetro del pezón, más o menos, resulta en una diferencia de 10 puntos.

Estimación de parámetros genéticos para características lineales de conformación

Las características de conformación han sido ampliamente estudiadas desde la perspectiva genética en el ganado bovino lechero. Algunos rasgos de tipo se han relacionado con la eficacia reproductiva, la locomoción y la longevidad animal.

En el ganado caprino, existe información de parámetros genéticos en las características lineales de conformación (CLC) y su relación con diferentes parámetros productivos (leche, grasa y proteína), reproductivos y vida productiva y conteo de células somáticas. El comprender cómo la condición de los rasgos de tipo afecta la eficiencia reproductiva y de producción de un animal es fundamental para un manejo eficaz del rebaño, a pesar de que para los productores de cabras las características de tipo son de interés principalmente con fines de mercadotecnia. Algunos autores mencionan que los futuros programas de mejoramiento genético en ganado caprino se beneficiarían al incluir las características de conformación para asegurar que la selección en el aumento de la productividad no vaya acompañada del deterioro de la aptitud funcional. Esto permite que las cabras permanezcan mayor tiempo dentro del rebaño productivo y con esto ser más rentables.

En los Estados Unidos de América se estimaron correlaciones genéticas y fenotípicas para características lineales de conformación en ganado caprino (Cuadro 2). También en Francia se han estimado correlaciones genéticas (r_G) y fenotípicas (r_F) para perímetro torácico (PT), lomo (LO), ángulo de la cadera (AC), distancia del corvejón (DC) y ángulo de la pezuña (AP) (Cuadro 3), y heredabilidades para características de la ubre (Cuadro 4). En el Cuadro 5 se presentan estimados de heredabilidades (h^2) para características de conformación en ganado caprino de EUA.



Cuadro 2. Correlaciones genéticas (por arriba de la diagonal) y fenotípicas (por debajo de la diagonal) para PFI y características lineales de conformación en cabras lecheras de EUA.

	PFI	EST	FOR	CLE	DPE	PTL	ACA	ANC	LDU	ALU	ARU	PDU	LMS	CPE
PFI		0.07	0.30	-0.15	-0.10	0.01	0.17	0.36	0.66	0.20	0.44	0.08	0.04	0.15
EST	0.05		0.14	0.22	0.07	-0.05	0.03	0.63	-0.06	-0.23	-0.01	0.11	0.05	0.06
FOR	0.24	0.11		-0.51	-0.02	-0.20	0.25	0.35	0.15	-0.27	0.07	-0.17	0.02	0.04
CLE	-0.10	0.10	-0.41		0.10	0.09	-0.02	-0.10	-0.16	0.04	-0.06	-0.05	0.09	0.02
DPE	-0.06	0.06	-0.02	0.07		-0.04	0.00	0.03	-0.20	-0.01	-0.03	-0.23	0.40	0.34
PTL	-0.01	-0.04	-0.14	0.06	-0.02		-0.10	0.00	-0.11	0.03	0.01	0.09	-0.02	-0.06
ACA	0.16	0.05	0.21	-0.05	0.01	-0.04		0.11	-0.02	-0.26	-0.07	0.06	0.01	0.04
ANC	0.24	0.34	0.23	-0.15	0.01	0.01	0.01		0.09	-0.27	0.09	-0.03	0.09	0.05
LDU	0.55	-0.04	0.14	-0.10	-0.13	-0.02	0.08	0.07		0.24	0.31	0.16	-0.05	0.04
ALU	0.20	-0.13	-0.14	0.07	0.01	-0.01	-0.14	-0.12	0.22		0.38	0.26	0.05	0.07
ARU	0.33	-0.01	0.05	0.03	0.00	-0.05	-0.04	0.03	0.26	0.30		0.02	0.05	0.14
PDU	0.08	0.04	-0.02	-0.14	-0.23	0.06	0.06	-0.01	0.15	0.10	-0.01		-0.34	-0.08
LMS	-0.04	0.05	-0.01	0.06	0.34	-0.02	0.00	0.03	-0.11	-0.03	0.02	-0.26		0.46
CPE	0.10	0.04	0.05	-0.02	0.31	-0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	-0.03	0.36	

PFI= puntos finales; EST= estatura; FOR= fortaleza; CLE= carácter lechero, ACA= ángulo de la cadera; ANC= ancho de la cadera; PTL= patas traseras vistas de lado; LDU= ligamento delantero de la ubre; ALU= altura de la ubre; ARU= arco de la ubre; LMS= ligamento medio suspensor; PDU= profundidad de la ubre; CPE= colocación de pezones; DPE= diámetro de pezones.

Las correlaciones genéticas más altas fueron estimadas entre EST y ANC (0.63) FOR y CLE (-0.51) y entre LMS y CPE (0.43), mientras que las correlaciones fenotípicas en lo general fueron de moderadas a bajas, excepto entre PFI con LDU (0.55).

Cuadro 3. Correlaciones genéticas entre características del cuerpo, pezuñas y patas en cabras de la raza Alpina (arriba de la diagonal) y Saanen (debajo de la diagonal) de Francia.

Característica	PT	LO	AC	DC	AP
PT Perímetro torácico		0.07	0.20	0.23	0.18
LO Lomo	-0.28		0.19	0.08	0.07
AC Ángulo de la cadera	0.02	0.47		0.41	0.26
DC Distancia de corvejón	0.17	-0.17	0.19		0.9
AP Ángulo de la pezuña	0.26	-0.26	0.14	0.91	



Las desviaciones estándar para las correlaciones genéticas fueron entre 0.08 y 0.14 (Alpinas) y entre 0.11 y 0.25 (Saanen).

En el Cuadro 3 se observa que todas las correlaciones genéticas estimadas fueron de moderadas a bajas. Las mayores correlaciones genéticas se estimaron entre AC y LO (0.47) en la raza Saanen y entre AC y DC (0.41) en la raza Alpina.

Todas las características de conformación del Cuadro 4 mostraron variación genética con errores estándar bajos y las mayores heredabilidades se estimaron para longitud del pezón (0.50 y 0.56 para Alpina y Saanen, respectivamente) y para anchura del pezón (0.41 y 0.45 en el mismo orden de razas).

Cuadro 4. Heredabilidades (h^2) para características de conformación de la ubre en cabras lecheras de Francia.

Característica de ubre	h^2	
	Alpina	Saanen
Ubre delantera	0.30 ± 0.014	0.25 ± 0.018
Ubre trasera	0.29 ± 0.015	0.24 ± 0.017
Posición del piso de la ubre	0.34 ± 0.015	0.37 ± 0.018
Perfil de la ubre	0.40 ± 0.016	0.28 ± 0.017
Ubre posterior	0.23 ± 0.015	0.29 ± 0.016
Longitud del pezón cm	0.50 ± 0.014	0.46 ± 0.017
Anchura del pezón cm	0.41 ± 0.015	0.45 ± 0.016
Forma del pezón	0.27 ± 0.016	0.26 ± 0.016
Colocación del pezón	0.38 ± 0.016	0.30 ± 0.017
Ángulo del pezón	0.22 ± 0.015	0.20 ± 0.016
Orientación del pezón	0.35 ± 0.016	0.32 ± 0.016

Las heredabilidades estimadas en el Cuadro 5 mostraron variación entre distintos rasgos y aún para la misma característica, debido probablemente al tamaño de muestra utilizado para el análisis de los datos, diferente modelo estadístico y distinta estructura de la población evaluada. Las mayores heredabilidades se estimaron para estatura, profundidad de ubre, colocación de pezones y diámetro de pezones.

Las características de tipo en cabras lecheras se han evaluado en EUA con un modelo animal multirracial, que ajusta las observaciones de tipo para edad, el efecto de la fecha de evaluación del rebaño, el mérito genético de la hembra y el efecto del ambiente permanente; las evaluaciones resultantes no se ajustan para las diferencias entre razas y, por lo tanto, son comparables entre las razas.



Algunos investigadores mencionan que debido a que muchos rebaños de cabras lecheras tienen más de una raza, todas las razas para características lineales de conformación se analizan juntas, y las diferencias de raza obtenidas se evalúan mediante grupos de padres desconocidos en el pedigrí como se hace para la evaluación de los rasgos de producción. Este enfoque asume que los componentes de varianza genética y ambiental son apropiados para todas las razas incluidas y que no hay heterosis.

Cuadro 5. Estimados de las heredabilidades (h^2) para características de conformación de la ubre en ganado caprino de EUA.

Características	Luo et al. (1997) (n= 10,932)	McLaren et al. (2016) (n=4,229)	Castañeda-Bustos et al. (2016) (n=12,626)
PFI	0.27		0.18±0.02
EST	0.52		0.20±0.02
FOR	0.29		0.14±0.02
CLE	0.24		0.07±0.02
ACA	0.32		0.15±0.02
ANC	0.27		0.13±0.02
PTL	0.21	0.13	0.10±0.02
LDU	0.25	0.15	0.25±0.02
ALU	0.25		0.18±0.02
ARU	0.19		0.20±0.02
LMS	0.33		0.21±0.02
PDU	0.25	0.38	0.21±0.02
CPE	0.36	0.32	0.32±0.02
DPE	0.38		0.28±0.02

± error estándar (ee). PFI= puntos finales; EST= estatura; FOR= fortaleza; CLE= carácter lechero, ACA= ángulo de la cadera; ANC= ancho de la cadera; PTL= patas traseras vistas de lado; LDU= ligamento delantero de la ubre; ALU= altura de la ubre; ARU= arco de la ubre; LMS= ligamento medio suspensor; PDU= profundidad de la ubre; CPE= colocación de pezones y DPE= diámetro de pezones.

Conclusiones

La estimación de parámetros genéticos es fundamental para el establecimiento de programas de selección ya que permiten obtener valores genéticos predichos, índices de selección para múltiples rasgos y predecir la respuesta directa, indirecta y correlacionada a la selección.

Los rasgos de conformación funcional tienen una relación directa con el tiempo de permanencia de los animales dentro de los rebaños, e indirectamente con los niveles de



producción de por vida. El mejoramiento de algunas características de conformación puede contribuir a la reducción de los costos de producción a través de una disminución de la incidencia de enfermedades, como la mastitis, y en el posible incremento de la longevidad de las cabras.

Los productos de cabras de diferentes regiones del mundo utilizan las características de conformación con fines de publicidad y mercadotecnia. Las características lineales de conformación se encuentran dentro de las características secundarias y no deben ser sobrevaloradas con respecto a las características primarias, como son la producción de leche, producción de grasa, producción de proteína, porcentaje de grasa y porcentaje de proteína. Las características lineales de conformación muestran variación genética, por lo que estas pueden ser mejoradas a través de la selección.

Referencias

- ADGA. (1993). American Dairy Goat Association. 1993. Linear Appraisal System for Dairy Goats. Ameri Spindale, NC. <http://www.adga.org>
- ADGA. (2012). American Dairy Goat Association Guide Book. American Dairy Goat Association. Spindale, NC. <http://www.adga.org>
- ADGA (2018). The American Dairy Goat Association. Dairy Goat History. <https://adga.org/about-us/history/>
- Ángel-Sahagún A. A, Campos-Castillo S. B., Gutiérrez-Chávez A. J., Lechuga-Arana A. A., Hernández-Marín J. A, Shepard L, Montaldo H, Valencia-Posadas, M. (2021). Relationships of conformation traits with somatic cell score in Nubian goats. *Brazilian Journal of Animal Science*, 50:e20210005. doi.org/10.37496/rbz5020210005
- Azis, M. A. (2010). Present status of the world goat populations and their productivity. In: Electronic version. http://www.lohmanninformation.com/content/l_i_45_artikel17pdf, Accessed: January, 10. 2011
- Boelling, D., Madsen, P., Jensen, J. (2001). Genetic parameters of foot and leg traits in future AI Bulls. II. Correlation to body conformation traits in daughters. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 51, 122-128. doi.org/10.1080/090647001750193459
- Castañeda-Bustos, V. J., Montaldo, H., Valencia-Posadas, M., Shepard, L., Pérez-Elizalde, S., Hernández-Mendo, O., Torres-Hernández, G. (2016). Linear and non-linear genetic relationships between type traits and productive life in US dairy



goats. *Journal of Dairy Science*, (100), 1-14. doi.org/10.3168/jds.2016-11313

DeGroot, B. J., Keown, J. F., Van Vleck, L. D., Marotz, E. L. (2002). Genetic parameters and responses of linear type, yield traits, and somatic cell scores to divergent selection for predicted transmitting ability for type in Holsteins. *Journal of Dairy Science*. 85, 1578-1585. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74227-6

De la Fuente, F. L., Gonzalo, C., Sánchez, J. P., Rodríguez, R., Carriedo, J. A., San Primitivo, F. (2011). Genetic parameters of the linear body conformation traits and genetic correlations with udder traits, milk yield and composition, and somatic cell count in dairy ewes. *Canadian Journal of Animal Science*, 91, 585-591. doi.org/10.4141/cjas2010-031

FAO, (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: www.fao.org/agriculture/dairy.../produccion.../pequenos-rumiantes/es/

Hofer, A. (1998). Variance component estimation in animal breeding: a review. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, (115), 247-265.

Luo, M. F., Wiggans, G. R, Hubbard, S. M. (1997). Variance component estimation and multitrait genetic evaluation for type traits of dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 80, 617 594-600. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75975-7

Manfredi, E., Piacère, A., Lahaye, P., Ducrocq, V. (2001). Genetic parameters of type appraisal in Saanen and Alpine goats. *Livestock Production Science*. 70, 183-189. doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00180-4

McLaren, A., Mucha, S., Mrode, R., Coffey, M., Conington, J. (2016). Genetic parameters of linear conformation type traits and their relationship with milk yield throughout lactation in mixed-breed dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 99, 1–10. doi.org/10.3168/jds.2015-10269

Montaldo, H. y Manfredi, E. (2002). Organization of selection programs for dairy goats. Proc. 7th Wrld. Congress on Genetics. *Applied Livestock Production. Communication No. 01-35*. Montpellier, France.

Rupp, R., Clément, V., Piacere, A., Robert-Granié, C., Manfredi, E. (2011). Genetic parameters for milk somatic cell score and relationship with production and udder type traits in dairy Alpine and Saanen primiparous goats. *Journal of Dairy Science*,



(94), 3629-3634. doi.org/10.3168/jds.2010-3694

Short, T. H., Lawlor, T. J. (1992). Genetic parameters for conformation traits, milk yield and herd life in Holstein. *Journal of Dairy Science*, 75(7), 1987-1998. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77958-2

Valencia-Posadas, M., Montaldo, H., Ruíz-López, F.J. (2008). Parámetros genéticos para características de conformación, habilidad de permanencia y producción de leche en ganado Holstein en México. *Técnica Pecuaria México*. 46(3), 235-248. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61346302.pdf>

Valencia-Posadas, M., Torrero-Garza, Y., Vicencio-Reyes, C.V., Shepard, L., Montaldo, H. (2010). Relaciones fenotípicas entre características de conformación con la habilidad de permanencia a los 36 meses en cabras Alpinas. *Acta Universitaria*, 20, 40-44. doi.org/10.15174/au.2010.53

Valencia-Posadas, M., Lechuga-Arana, A. A., Ávila-Ramos, F., Shepard, L., Montaldo, H. (2021). Genetic parameters for somatic cell score, milk yield and type traits in Nigerian Dwarf goats. *Animal Bioscience*, 35(3), 377-384. doi: 10.5713/ab.21.0143

Wiggans, G. R., Hubbard, S. M. (2001). Genetic evaluation of yield and type traits of dairy goats in the United States. *Journal of Dairy Science*. 84 (E. Suppl.): E69-E73. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70199-3

Wiggans, G., Hubbard, S. M., Wrigth, J. R. (2003). AIPL goat evaluation description. Genetic evaluation of dairy goats for yield and type. <http://www.aipl.arsusda.gov/reference/goat/goatsfs.html>

Wiggans, G. R., Gengler, N., Wright, J. R. (2004). Type trait (co)variance components for five dairy breeds. *Journal of Dairy Science*, (87), 2324-2330. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70054-5



Parásitos en bovinos de Unidades de producción familiar de Llera de Canales, Tamaulipas

Oscar Guadalupe Barrón Bravo^{1*}, Ricardo Avilés Ruiz¹, Rubén Darío Garza Cedillo², César Andrés Ángel Sahagún³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CIRNE-INIFAP). ²Campo Experimental las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas. ³Campo Experimental Río Bravo, CIRNE-INIFAP, Río Bravo, Tamaulipas. ³Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Guanajuato, Irapuato Guanajuato. barron.oscar@inifap.gob.mx*, ricardo7900aviles@hotmail.com, rdgarzac@hotmail.com, csahagun@ugto.mx

Introducción

México cuenta con diversas unidades productivas que poseen características técnicas, económicas y de manejo muy diferentes, la ganadería bovina prolifera beneficiándose de las condiciones ecológicas que le favorecen en casi todas las regiones de nuestro país. Se pueden encontrar sistemas de producción en zonas rurales marginadas donde la pobreza es extrema hasta sistemas intensivos altamente tecnificados, la ganadería bovina tiene cabida en mercados locales, nacionales e internacionales.

Todo sistema de producción animal en especial el bovino forma parte importante del sistema de producción ecológico y alimentario, siendo clave en el bienestar humano, suministro de alimentos, nutrientes, ingresos y siendo una fuente de consideración importante en la economía como fuente de empleo de miles de personas, el consumo de productos provenientes de esta producción, piel, carne, leche y sus derivados se ha asociado al nivel de desarrollo económico y calidad de vida de la población.

La forma de operar de cada producción dependerá del poder adquisitivo de cada productor, del fin productivo que se desee, la forma en la que se administre el capital y las condiciones generales del entorno donde se establezca. Las especies ganaderas tienen vital importancia en las funciones económicas, sociales y culturales de los hogares rurales a nivel mundial, debido a que son las base para mejorar el nivel socioeconómico de la familia y comunidad, suministran alimentos, ingresos, ahorro de activos, productividad del suelo, medios de vida, transporte, tracción agrícola, diversificación y producción agrícola sostenible, empleo familiar y comunitario, además de participar en tradiciones locales.

Todo sistema tiene factores que representan un riesgo a considerarse, ya que pueden llegar a mermar su producción y afectar directamente el bienestar económico y de salud de la comunidad y el productor. En el caso del ganado bovino la parasitosis es uno de los problemas a nivel mundial más comunes que llegan a provocar una disminución en la producción de carne y leche, así como anemia y la transmisión de agentes patógenos



como lo son bacterias y parásitos, entre los principales parásitos se encuentran la garrapata y los nematodos gastrointestinales. Por ello se han desarrollado diversas estrategias y tecnologías para lograr su control. Por lo anterior, es de suma importancia que los ganaderos de Unidades de Producción Familiar (UPF), medianos y grandes productores estén capacitados sobre las tecnologías en el manejo sanitario con la finalidad de lograr un uso racional y eficiente de los recursos existentes, logrando una comunidad de transferencia donde todos se vean beneficiados, teniendo en cuenta la importancia de la inocuidad y calidad para abrirse paso en el mercado nacional e internacional.

La caracterización de las unidades de producción familiar en especial las de ganado de carne son importantes, ya que representan el punto de partida para conocer las condiciones y basado en eso generar recomendaciones para el fortalecimiento y apoyo, eventualmente mejorará el desarrollo de las UPF, comparando la evolución de los sistemas de producción a través del tiempo y determinado como influyen los diferentes factores que inciden en el desarrollo agropecuario.

Para el apoyo a la producción agropecuaria el Gobierno Federal instauro Proyectos de Desarrollo Territorio (PRODETER), a través de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y el Gobierno del Estado de Tamaulipas, por medio del Comité Estatal de Desarrollo Rural (CODER), y con fundamento en los lineamientos del Programa de Desarrollo Rural 2019 correspondiente al Fortalecimiento de las Unidades de Producción Familiar en los Municipios con comunidades consideradas de alta y muy alta marginación por el Consejo Nacional de Población (CONAPO).

El PRODETER tiene como fundamento la creación de proyectos de inversión que mejoren la producción primaria, así como crear o fortalecer las empresas que permitan asumir las funciones económicas prioritarias, con el objetivo de mejorar la producción primaria. Esto se logra mediante acciones de capacitación específica, continua, teórica y práctica, conociendo previamente las problemáticas que aquejan a ese sector en específico, con el propósito de asegurar la apropiación del conocimiento; siendo de suma importancia la disposición del productor para aplicar los conocimientos en pro de mejorar su sistema productivo.

El objetivo del proceso de generación y transferencia de tecnología agrícola es proponer técnicas de producción, que adoptadas por los productores, aumenten la producción, mejoren la calidad del producto, combinen más eficientemente los factores de producción, causen crecimiento económico, y un mejor uso y manejo de los recursos naturales. Anteriormente en México los Grupos Ganaderos de Validación y Transferencia de Tecnología (GGAVATT), fue un método de transferencia de tecnología en el que un



grupo de productores pecuarios con el mismo fin de producción se organizaban. El modelo GGAVATT fue una buena alternativa de solución, desarrollado y utilizado desde 1985 por un grupo de investigadores del INIFAP, adscritos al Campo Experimental “La Posta” en el estado de Veracruz, el cual se implementó con éxito en el país en diferentes sistemas de producción pecuarios.

Las zonas de clima tropical en México representan el 27.7 % del territorio nacional, las cuales juegan un papel importante en la producción agropecuaria; de estas áreas el Estado de Tamaulipas es uno de los más importantes productores agropecuarios del país, con aproximadamente 90 mil productores de las principales cadenas productivas como lo son el sorgo, maíz, soya, cítricos, carne y miel, entre otras, las cuales representan una importante fuente de ingresos y gran generador de empleos directos e indirectos

En el proyecto PRODETER en el Estado de Tamaulipas participó el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Las Huastecas; en la zona centro del Estado se encuentra ubicado el municipio de Llera de Canales, donde se constituye un grupo de productores denominado “Productores de Llera”, el cual se encuentra constituido por diferentes áreas de producción dentro de las que destacan la ganadería, apicultura y citricultura. En el proyecto se cuenta con un registro total de 224 productores de los cuales al menos 60 son apicultores, 80 ganaderos, 84 citricultores, quienes pertenecen a los Ejidos La Alberca, José Ma. Morelos, Emilio Portes Gil, Las Compuertas, Felipe Carrillo Puerto, Rancho Nuevo del Sur, Santa Isabel, Congregación San Juan, Voz Campesina, Emiliano Zapata, San Rafael, Nuevo San Luis, Rancho la Gloria y la cabecera Municipal.

En Tamaulipas continúan los esfuerzos para posicionarse en el país como líder en la producción agropecuaria, con la coordinación del Gobierno del Federal, Estatal y productores, ya que la organización es clave para proveer apoyos de manera ágil, dinámica y estratégica para la inversión agropecuaria. En el Estado se producen 43 mil toneladas de carne de bovino en canal cadenas productivas a las que se suma el municipio de Llera de Canales, en donde estas tres actividades fortalecen la economía, además de que se alternan con la siembra de maíz, frijol, cerdos y aves, entre otros, para autoconsumo y abastecimiento de mercados locales.

La región centro y sur de Tamaulipas tiene potencial para contribuir con la producción pecuaria tanto en ganadería como apicultura, debido a la riqueza de los hábitats en plantas y flores que producen néctar y polen, así como forraje, el municipio de Llera contribuye con 293 toneladas de miel al año; aunque la miel es el principal producto se ha incursionado en darle valor agregado como la elaboración de jabones y dulces.



En el Estado de Tamaulipas se cuantifican aproximadamente 1 millón 176 mil cabezas de ganado, con más de 17 mil unidades de producción; por su parte, los ganaderos de Llera han contribuido a la producción de 520 toneladas de bovino en pie, siendo en su mayoría pequeños productores con sistemas orientados a la producción de carne y algunos a la producción de leche. El mejoramiento genético del ganado vacuno ha sido un proceso lento, se obtuvieron algunas cruces con razas mejoradas; sin embargo, se tiene el potencial para una mayor producción, aprovechando así de una manera sustentable las áreas de pastoreo.

La mejor forma de lograr la integración del productor con la agroindustria para salir del rezago económico es en virtud de las similitudes y diferencias de cada actor o parte involucrada, entendidos como piezas clave para diagnosticar el modo de prevalecer de un sector mediante un análisis estratégico. A partir de ellos conocer la situación en que se encuentra, para generar mecanismos y estrategias para progresar y desarrollar sus actividades de mejor manera. La caracterización de las UPF muestra la forma en que se lleva cabo la cadena productiva y permite identificar deficiencias en la cadena de producción, que se pueden fortalecer estratégicamente para el desarrollo de las poblaciones.

Características y ubicación del municipio de Llera Tamaulipas

El municipio de Llera localizado en el estado de Tamaulipas (Figura 1.) colindante con los municipios de Victoria, Casas, Gonzalez, Xicotencatl y Jaumave se caracteriza por un clima que va de cálido a subhúmedo al semiseco muy cálido con lluvias en verano, con una temperatura que se encuentra entre los 14 a 26 °C, una precipitación anual de 600 a 1,200 mm, ocupa el 3.2 % del estado. Este municipio sobresale por su producción de cítricos, ganado bovino entre otras fuentes de alimento (Figura 2).

Parásitos de importancia en la producción bovina

Los parásitos en los bovinos son un problema a nivel mundial, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales, de forma general pueden causar anorexia aguda, daño a los tejidos, anemia, toxemia y obstrucción de órganos, por lo que su estudio es de gran importancia ya que el diagnóstico preciso y su identificación son un aspecto central para el control efectivo, particularmente cuando poseen resistencia a los desparasitantes. Para su estudio los parásitos se dividen de diferentes formas, una clasificación es: nematodos, trematodos, cestodos protozoarios y artrópodos, también se pueden clasificar en Ectoparásitos, Hemoparásitos y Endoparásitos (Figura 3).

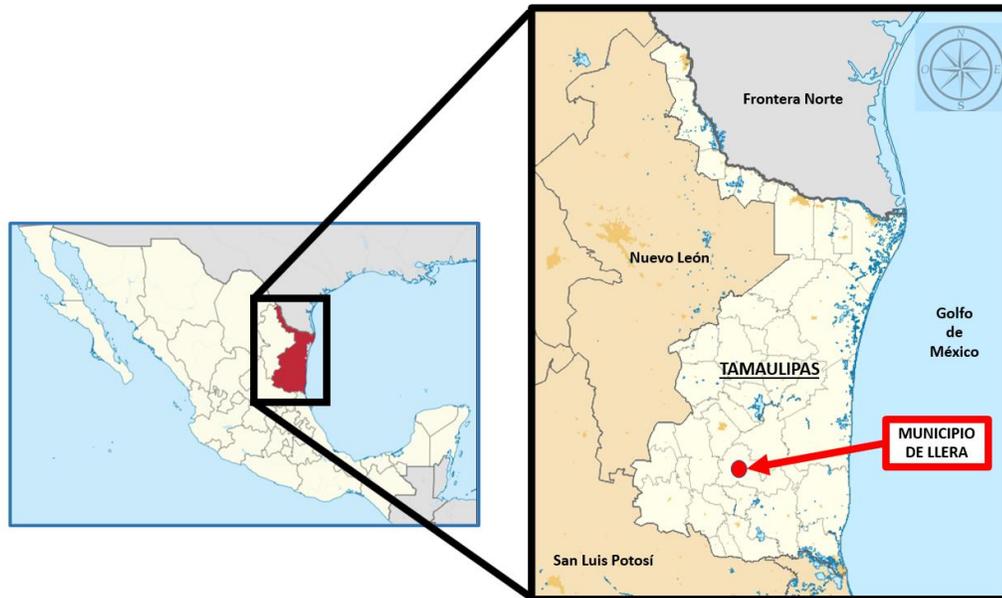
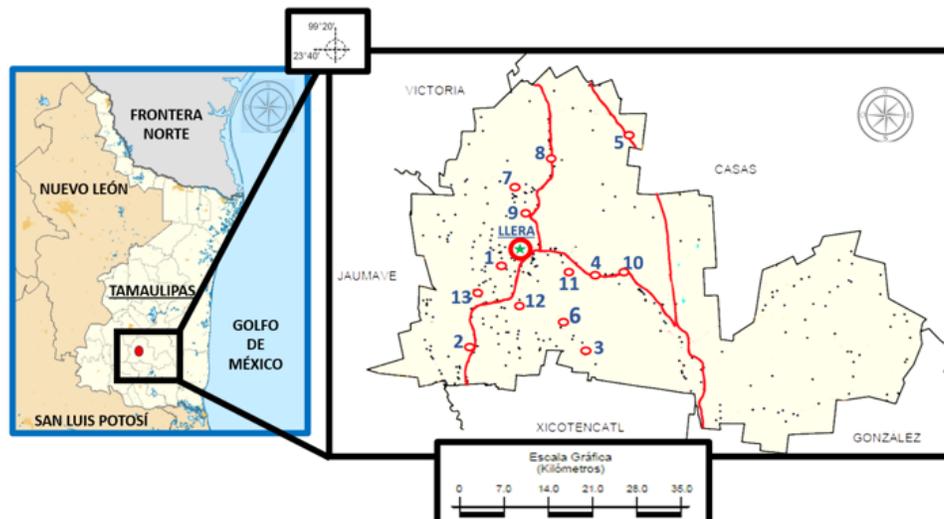


Figura 1. Ubicación del Municipio de Llera, Tamaulipas donde se desarrolló el PRODETER.



N°	Ejido	UPF	N°	Ejido	UPF
1.	Congregación La Mina	2	8.	La Alberca	10
2.	Conrado Castillo	2	9.	La Angostura	2
3.	El Ébano	2	10.	Las Computas	2
4.	Emiliano Zapata	9	11.	Nuevo San Luis	6
5.	Emilio Portes Gil	2	12.	Rancho Nuevo del Sur	17
6.	Felipe Carrillo Puerto	8	13.	Santa Isabel	11
7.	José Ma Morelos	7	Total		80

Figura 2. Ubicación de los ejidos y cantidad de Unidades de Producción Familiar (UPF) en Llera, Tamaulipas, (adaptado de INEGI, 2009).

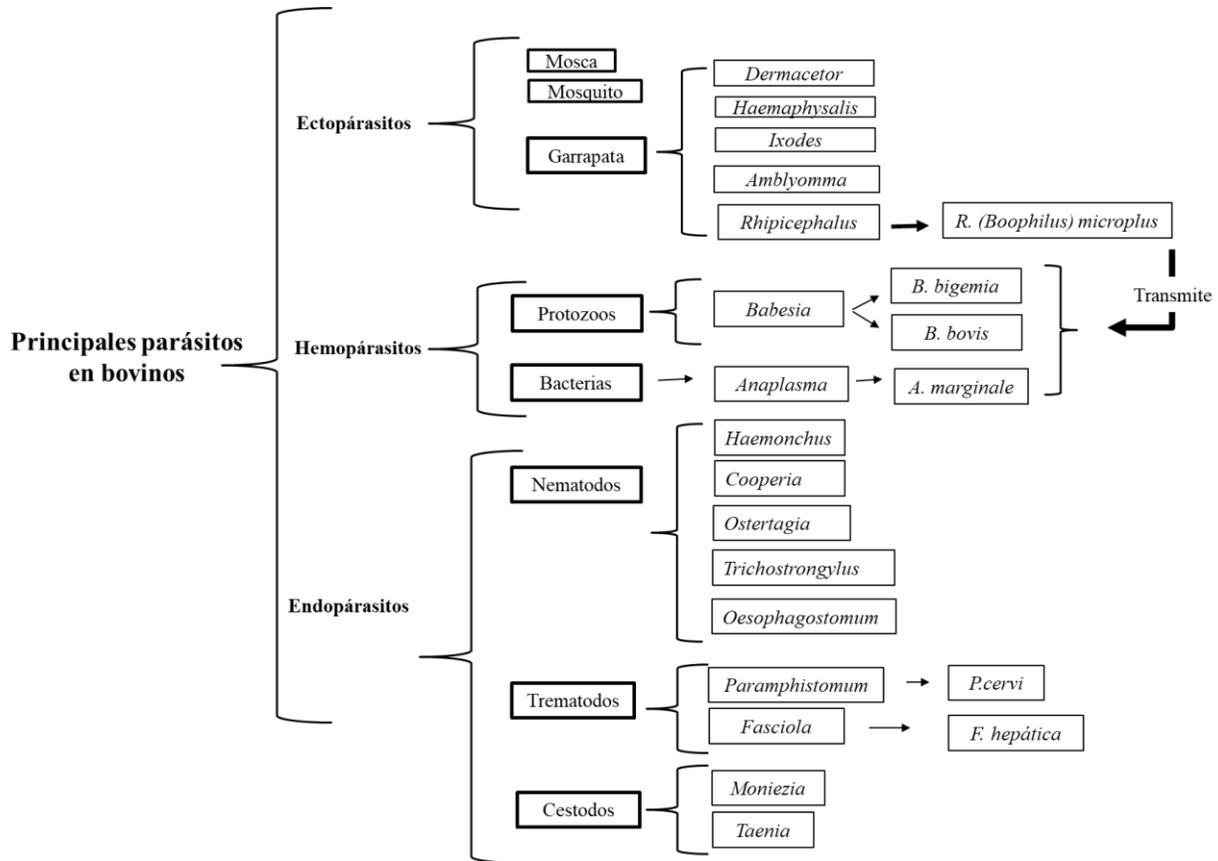


Figura 3. Clasificación de los principales parásitos en bovinos.

Nematodos

Los nematodos son también el grupo más numeroso de parásitos de los animales y del hombre, se encuentran extensamente distribuidos en una variedad de hábitats. Los nematodos parásitos de los animales tienen gran importancia económica, debido a la elevada frecuencia con que se presentan, generalmente tienen carácter crónico y la mayoría interfiere con un buen crecimiento. Se localizan en la mayoría de los órganos principalmente en el tracto digestivo, tienen ciclo de vida directo o indirecto y algunos son zoonóticos (Rose, 2018). Los parásitos en los bovinos causan anemia, gastritis, abomasitis, úlceras, diarreas, alteraciones del pH, enteritis, enflaquecimiento (Cuadro 1), esto puede llevar a la muerte del animal, y pérdidas en los sistemas de producción.

**Cuadro 1.- Localización y efecto de parásitos en bovinos.**

Género	Localización	Efecto
<i>Haemonchus</i> sp.	Abomaso	Anemia, gastritis
<i>Trichostrongylus alexis</i>	Abomaso	Abomasitis, gastritis, úlceras profundas, diarreas severas, alteraciones del pH
<i>Ostertagia</i> sp.	Abomaso	Anemia, nódulos, alteraciones del pH, afecta la producción de pepsinógeno
<i>Cooperia</i> sp.	Intestino delgado	Enteritis, anemia, diarreas
<i>Strongyloides papillosus</i>	Intestino delgado	Enteritis y enflaquecimiento
<i>Bonostomum</i> sp.	Intestino delgado	Enteritis
<i>Oesophagostomum</i> sp.	Intestino grueso	Enflaquecimiento, diarreas, pérdidas de proteína plasmática

Haemonchus contortus

Es un patógeno hematófago, que se localiza principalmente en el abomaso que afecta a los rumiantes, es capaz de afectar clínica y subclínicamente a la población joven y adulta, disminuye la eficacia de la digestión y la absorción de nutrientes lo cual reduce el metabolismo energético de mantenimiento y producción, que ocasiona los casos de anemia que son comunes por la severa pérdida de sangre, mientras que una baja en el consumo de alimento y conversión alimenticia ocasiona pérdida de peso en animales en producción, es muy importante debido a su alto potencial reproductivo, que causa grandes cargas parasitarias, su población se puede incrementar en las épocas secas y calurosas, pudiendo ocasionar, gastritis severa, anemia, diarrea y susceptibilidad a otras enfermedades y, en infestaciones masivas, puede incluso causar la muerte en animales principalmente cuando son jóvenes.

***Cooperia* spp.**

Es un parásito gastrointestinal que tiene un efecto negativo en el crecimiento y la productividad de bovinos, debido a que afecta la función del intestino delgado de los bovinos, existiendo varias especies, entre las que se destacan *C. oncophora*, *C. punctata* y *C. pectinata*, de las cuales las dos últimas son las que predominan en las zonas tropicales y subtropicales. Es normal hallarlas asociadas a la gastroenteritis parasítica en terneros, aunque la severidad de los signos clínicos y cambios patológicos están directamente relacionados con el nivel de infección. La mayoría de ellos se aloja en los primeros 3-6 metros de intestino delgado; el periodo de incubación es de 12-15 días. Son de ciclo directo, los huevos se excretan por las heces los cuales se encuentran en estado de mórula, la temperatura, humedad y oxígeno son requeridos para su desarrollo a L1 dentro del huevo. El desarrollo del huevo a larva infecciosa dura entre 4-6 días. Las jóvenes larvas eclosionan del huevo, se alimentan de bacterias.



***Ostertagia* spp**

Es un parásito común en todas las regiones del mundo, especialmente en lugares con condiciones de lluvias o irrigación adecuadas para su transmisión y supervivencia. Puede prolongar el ciclo parasitario por medio de la hipobiosis de semanas a meses evitando condiciones que amenazan su supervivencia, tanto en el hospedador como en el medio ambiente. Este parásito afecta tanto a los animales adultos como a los jóvenes. Los factores ambientales como el incremento de la temperatura y el fotoperiodo actúan sobre las larvas infectivas (L3) en su fase de vida libre. La resistencia adquirida por los animales a la infección por estos endoparásitos requiere de períodos de exposición más largos que para los otros parásitos (Fiel *et al.*, 2009; Márquez y Jiménez, 2017).

***Trichostrongylus* spp.**

Este nematodo es un parásito cosmopolita que parasita el abomaso y estómago de una lista amplia de mamíferos poligástricos y monogástricos, incluyendo rumiantes, equinos, cerdos y el hombre. Nematodo pequeño y delgado de cutícula finamente estriada transversalmente. La longitud total del cuerpo es 3942 μm , con un ancho máximo de 65 μm en la región posterior a nivel de la bolsa copulatriz. El esófago es delgado y mide aproximadamente 171 μm de longitud. Las espículas presentan un color marrón, además son desiguales en longitud (Gomez-Puerta *et al.*, 2016).

***Oesophagostomum* spp.**

El género *Oesophagostomum* habita en el intestino grueso; estos nematodos con frecuencia se denominan gusanos nodulares y miden 2 2.5 cm (Rojas *et al.*, 2011).

***Bunostomum* spp.**

Los huevos son redondeados, con cascara gruesa y pegajosa. Tienen un ciclo de vida directo y la infección se produce por vía oral o cutánea. Entre los signos más importantes son anemia, inapetencia, emaciación, diarrea con mucus y sangre, hipoproteinemia, edema submandibular, caquexia, y muerte (Cepeda, 2017).

Coccidiosis (*Eimeria* spp.)

Bajo las condiciones de crianza del ganado bovino los principales problemas de salud son los problemas digestivos (diarreas) y respiratorios (neumonías). Dichas enfermedades se atribuyen a instalaciones inadecuadas y dietas deficientes. En México la diarrea se considera una de las principales causas de mortalidad neonatal. Las diarreas causadas por coccidia (*Cryptosporidium parvum*) son comunes en los sistemas de producción donde se ofrece forraje verde.



La coccidia es un parásito protozoario que es comúnmente asociado con enfermedades del tracto gastrointestinal en bovinos neonatos. Los terneros infectados con *C. parvum* puede ser asintomáticos o desarrollar una diarrea severa con deshidratación. Existen varias especies de *Cryptosporidium* que causan diarrea en los terneros. Sin embargo, los más comunes son: *C. parvum*, *C. bovis*, *C. ryanae* y *C. andersoni*. *C. parvum* es considerado el principal causante y un agente zoonótico potencial.

La invasión de *C. parvum* en los enterocitos induce cambios en las estructuras del citoesqueleto, tales como pérdida de microvellosidades y disminución de tamaño de las células epiteliales. Estos daños en el intestino causan desnutrición y provocan una menor ganancia de peso en terneros infectados debido a una deficiente absorción y fermentación de la leche que no es digerida en el lumen del intestino.

Prevención

La prevención será siempre la primera opción para tener un sistema de producción sustentable, en el caso de la diarrea por coccidia deben seguirse meticulosos cuidados previos y posteriores al nacimiento de las crías con la finalidad de tener un mejor desempeño productivo. Algunos de estos cuidados previos incluyen colocar a la madre en un ambiente seco y limpio para parir y evitar situaciones de estrés, en el caso de la cría al nacer con bajos niveles de inmunoglobulinas será de vital importancia proveer el volumen adecuado de calostro antes de las primeras 4 horas para transferir inmunidad pasiva. El volumen requerido para la cría recién nacida es de 10% de su peso vivo, aproximadamente 4 a 4.5 litros/día. Se debe colocar a la cría en un lugar previamente desinfectado, en el cual pasará una parte de su vida como lactante. Una técnica común de desinfección es asperjar una solución de hidróxido de calcio el área donde se albergarán las crías. La coccidia es un protozoario que permanece latente por más de un mes. En el caso de que se mantuvo una cría que presentó la afección, se tendría que considerar un tiempo mayor de un mes para rehabilitar el espacio para evitar que las heces y orina de las crías infecten al nuevo animal que habite el lugar, evitando la diarrea y en casos severos la muerte.

Diagnóstico de laboratorio

La flotación fecal y la microscopía directa son comúnmente usados para diagnósticos de huevecillos o ocitos de parásitos. La flotación fecal es basada simplemente en diferencias de las densidades entre una solución y los ocitos. La centrifugación es comúnmente incluida en el procedimiento testigo para aumentar la detección de sensibilidad, dado que la centrifugación concentra los huevecillos o ocitos para una fácil vista en el microscopio utilizando la tinción adecuada.



Garrapata

La infestación por garrapatas es una de las principales causas de las pérdidas económicas de la ganadería mundial y de problemas de salud en humanos debido a las reacciones alérgicas, transmisión de enfermedades, entre otros. Las garrapatas son un grupo importante de vectores de artrópodos, caracterizados por la diversidad de patógenos que transmiten, por su impacto en la salud animal, y por su implicación socioeconómica, su mayor presencia en el medio ambiente desde principios del siglo XX es innegable, debido a las principales modificaciones en la biodiversidad causadas por los humanos.

En las áreas tropicales y subtropicales las garrapatas son los ectoparásitos más importantes del ganado por su invasividad. Afectan el crecimiento de los animales y causan lesiones graves en la piel y las ubres, pero su mayor impacto resulta de la transmisión de patógenos que causan enfermedades importantes, generalmente denominadas enfermedades transmitidas por garrapatas como la *Babesia* spp. y *Anaplasma* spp.

Los ganaderos dependen del uso de acaricidas para prevenir enfermedades transmitidas por garrapata, sin embargo, la efectividad de los acaricidas utilizados actualmente está amenazada por la rápida expansión de las garrapatas resistentes; aunado a lo anterior se necesita continuar investigando sobre la identificación de los diferentes patógenos y factores asociados a enfermedades transmitidas por garrapata para desarrollar mejores estrategias de prevención y control.

Generalidades de la Garrapata

Las garrapatas están presentes en todo el mundo y, dependiendo de la especie, pueden observarse en hábitats muy variados, desde los más secos hasta los más húmedos. Se han identificado un total de 900 especies de garrapatas. Se dividen principalmente en dos familias: garrapatas duras o Ixodidae y garrapatas suaves o Argasidae. Un total de 193 especies forman parte de la familia Argasidae, principalmente como dos géneros principales: Argas y Ornithodoros. Casi 700 especies son parte de la familia Ixodidae, y se dividen en siete géneros. Los principales géneros son: *Amblyomma*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, *Hyalomma*, *Ixodes* y *Rhipicephalus*.

En México se han registrado 82 especies de garrapatas tanto en animales silvestres como domésticos siendo *R. microplus* la que mayor impacto tiene en la ganadería debido a su amplia distribución en regiones tropicales y subtropicales. La distribución geográfica de las garrapatas obedece a factores ambientales, entre los que destacan la humedad relativa, la temperatura, y la vegetación, que son determinantes en la distribución de las especies. Otros factores que intervienen en la distribución son la altitud, presencia y



abundancia de hospederos y las prácticas de control o erradicación que el hombre ejerce sobre las poblaciones de garrapatas.

Ciclo biológico de la garrapata

Las garrapatas pasan por cuatro etapas de desarrollo: huevo, larva, ninfa y adulto (macho o hembra), deben de ingerir sangre entre cada etapa para inducir la muda, por lo tanto, las garrapatas son hematófagas en todas las etapas. El desarrollo de las garrapatas ocurre en 1, 2 o 3 hospederos. Para que las garrapatas logren su desarrollo, es necesario que cursen por tres fases: no parasítica, de encuentro y parasítica.

Anaplasmosis

(*Anaplasma* spp., *Babesia* spp.) transmitido por la garrapata en muchas ocasiones no es detectado, debido a que los animales, una vez infectados desarrollan infecciones asintomáticas o enfermedades subclínicas que pueden producir bajas en la fertilidad, incremento en el tiempo de engorda, problemas en la comercialización, anemia, aborto, baja de producción de leche y en algunos casos muerte. Puede transmitirse biológicamente por garrapatas, mecánicamente por picadura de moscas y fómites contaminados con sangre, y verticalmente mediante el movimiento de glóbulos rojos infectados de la madre a través de la placenta en el útero.

Babesiosis

La babesiosis bovina, también conocida como piroplasmosis en México es causada por dos especies de protozoarios intraeritrocíticos que son *B. bovis* y *B. bigemina*. Esta enfermedad es transmitida por artrópodos en bovinos y es endémica de regiones tropicales. Se caracteriza por presentar fiebre y hemólisis intravascular, causando un síndrome de anemia. Esta es una de las enfermedades más importantes desde el punto de vista económico de la ganadería tropical. El ganado adquiere la infección cuando es joven, pero las reacciones son ligeras, debido a que tiene mejores condiciones eritropoyéticas de la médula ósea, mientras que los animales adultos enferman grave o mortalmente.

Prevención y control contra las garrapatas

El control de garrapata se basa principalmente en el uso de acaricidas; sin embargo, su uso irracional ha propiciado la aparición de garrapatas resistentes a las principales familias de acaricidas. Esto hace necesario el desarrollo de alternativas de control, incluyendo el empleo de prácticas de manejo en los animales, selección de razas de bovinos resistentes a las garrapatas, uso de extractos de plantas, manejo de pastizales, vacunación (vacuna anti-garrapata) y control biológico. El manejo integral de garrapatas consiste en la apropiada combinación de al menos dos herramientas de control para



romper el equilibrio de poblaciones con alta proporción de individuos genéticamente resistentes, manteniendo un adecuado nivel de producción en los animales.

Diagnóstico de Hemoparásitos: Protozoarios y Rickettsias

La mayoría de los parásitos protozoarios y rickettsiales que invaden el torrente sanguíneo pueden destruir a los eritrocitos. Por tanto, cuando los animales muestren signos clínicos de anemia, su sangre debería ser examinada para determinar, por un lado, el contenido de hemoglobina y las cuentas celulares. Por otro lado, la morfología, el tamaño, y las características de tinción de los eritrocitos, así como la presencia de parásitos sanguíneos, sólo podrán evidenciarse mediante la observación microscópica de extensiones de sangre (frotis) cuidadosamente elaboradas y meticulosamente examinadas.

Desparasitantes utilizados

Existen diversas opciones de productos químicos utilizados en el control de parásitos (Cuadro 2), en el caso de las garrapatas en bovinos de las UPF de Llera el control se lleva a cabo mediante: Garra Ban (Clorpirifos + Permetrina), Bovitraz (Amitraz), Tactic (Amitraz), Bayticol (Flumetrina), Asuntol (Coumaphos), Butox (Deltametrina). Los ganaderos utilizan estos productos principalmente y mencionan que la garrapata es una de las principales problemáticas en sus UPF, por lo que es necesaria la capacitación y el seguimiento en la asesoría en el manejo integrado de este parásito.

Cuadro 2. Fármacos utilizados como desparasitantes.

Grupo químico	Fármaco
Aminoacetónitrilos	Monepantel
	Albendazol; Cambendazol; Fenbendazol; Mebendazol;
Benzimidazoles	Oxfendazol; Oxibendazol; Parbendazol; Tiabendazol;
	Triclabendazol
Benzimidazoles (pro-)	Febantel; Netobimina; Tiofanato
Ciclooctadepsipéptidos	Emodepsida
Imidazotiazoles	Tetramisol; Levamisol
Lactonas Macrocíclicas	Abamectina; Doramectina; Ivermectina; Moxidectina;
	Nemadectina
Organofosforados	Diclorvos; Haloxón; Triclorfón
Pirazinoisoquinolinas	Fenotiazina; Piperazina; Praziquantel
Salicilanilidas	Closantel; Niclosamida; Oxiclozanida; Rafoxanida
Espiroindoles	Derquantel
Fenoles sustituidos	Bitionol; Nitroscanato; Nitroxinilo
Tetrahidropirimidinas	Morantel; Pamoato de Pirantel; Tartrato de Pirantel



Conclusiones

Los ganaderos participan activamente en el control de parásitos debido a que en la zona las condiciones son favorables para el desarrollo de estos principalmente de la garrapata, aunque pocos realizan pruebas complementarias las cuales fortalecen la planeación y las estrategias para implementar mejoras en los programas de control, los principales métodos de aplicación son el baño por aspersion con bomba de mochila, vía subcutánea, *Pour on* (tópico en el lomo del bovino) y baño sumergido en fosa.

Las principales Unidades de Producción de Familiar de Bovinos del municipio de Llera, Tamaulipas, se fortalecen y diversifican con actividades como la apicultura y citricultura principalmente, y les hace falta capacitación y asistencia técnica para su fortalecimiento. La continuidad en la asesoría y la atención a los productores al implementar un programa de asistencia técnica es un punto clave para mejorar las Unidades de Producción Familiar de Bovinos. Los cursos de capacitación, módulos demostrativos y la asesoría técnica continua, fomentan el conocimiento en los productores de las tecnologías como el manejo integrado de plagas, las buenas prácticas de manejo, implementación de registros, la diversificación de productos y las variantes en los mercados. Los ganaderos en Llera requieren capacitación y asistencia técnica en las áreas de sanidad, alimentación y reproducción, además del aprovechamiento de razas puras, el control de la garrapata y las principales enfermedades, así como la mejora en prácticas sustentables para retención de agua.

Las principales recomendaciones generales son el fortalecimiento en la capacitación y asistencia técnica con tecnologías aplicadas en las Unidades de Producción Familiar de Bovinos del municipio de Llera, de una forma estratégica y permanente, así como fomentar el conocimiento en los productores sobre las tecnologías de manejo integrado de plagas, las buenas prácticas de manejo, implementación de registros, la diversificación de productos y las variantes en los mercados, también en los temas de sanidad, alimentación y reproducción, aprovechamiento de razas puras y tecnologías en forrajes, el control de la garrapata y las principales enfermedades, así como las prácticas sustentables para retención de agua y mejoramiento de fertilidad de los suelos en praderas.

Referencias

Adjou, M.P., Luc, A. G., Katahira, H., Gao, Y., Guo, H., Efstratiou, A., Jirapattharasate, C., Wang, G., Liu, M., Edmond, R. A., Umemiya-Shirafujia, R., Suzuki, H., Xuan, X. (2018). Prevalence, risk factors, and genetic diversity of veterinary important tickborne pathogens in cattle from *Rhipicephalus microplus*-invaded and noninvaded areas of Benin. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 9: 450–464. doi:10.1016/j.ttbdis.2017.12.015



- Benavides-Ortiz, E., Polanco-Palencia, N. (2017). Epidemiología de hemoparásitos y endoparásitos en bovinos de zonas de reconversión ganadera en La Macarena (Meta, Colombia). *Revista de Medicina Veterinaria*. 34: 115-136. doi.org/10.19052/mv.4260
- Bermúdez, C. E., Arenas, N. E., Moreno, M. V. (2017). Caracterización socio-económica y ambiental en pequeños y medianos predios ganaderos en la región del Sumapaz, Colombia. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica*. 20 (1): 199-208. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n1/v20n1a21.pdf>
- Bettencourt, E. M. V., Tilman, M., Narciso, V., Carvalho, M. L. S., Henriques, P. D. S. (2015). The livestock roles in the wellbeing of rural communities of timor-leste. *Revista Brasileña de Economía y Sociología Rural*, 53(1): 63-80. doi.org/10.1590/1234-56781806-94790053s01005
- Costa-Gomes, L.V., Pires-Teixeira, W. F., Giquelin, M. W., Felippelli, G., Buzzulini, C., Edésio-Soares, V., Pacheco, M.D., Cayero-Cruz, B., Castro, R.D., López, F. L., Oliveira-Monteiro, C. M., Zanetti, L. W. D., Costa, A. J. (2022). Strategic control of cattle co-parasitized by tick, fly and gastrointestinal nematodes: Is it better to use ecto + endoparasiticide or just endectocide formulations?. *Veterinary Parasitology*, 301: 109622. doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109622
- Dantas-Torres, F. (2015). Climate change, biodiversity, ticks and tick-borne diseases: The butterfly effect. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 4: 452-461. doi.org/10.1016/j.ijppaw.2015.07.001
- Galon, E., Adjou, M., Ybanez, R., Ringo, A., Efstratiou, A., Lee, S., Liu, M., Guo, H., Gao, Y., Li, J., Salces, C., Maurillo, B., Boldbaatar, D., Ybanez, A., Xuan, X. (2019). First molecular detection and characterization of tick-borne pathogens in water buffaloes in Bohol, Philippines. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 10: 815-821. doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.03.016
- Garay, M. J. R., Barrón, B. O. G., Maciel, T. S. P., Avilés, R. R., Joaquín, C. S., Bautista, M. Y., Granados, R. L. D. (2020). Caracterización de las unidades de producción de bovinos en El Mante, Tamaulipas. *Ciencia e Innovación*. 3 (1): 113-124. https://www.researchgate.net/publication/349454071_Caracterizacion_de_las_unidades_de_produccion_de_bovinos_en_el_Mante_Tamaulipas_ISSN2594-150X
- García-Ruíz, A., Ruíz-López, F.J., Alonso-Díaz, M., Von-Son-de-Fernex, E., Olazarán-Jenkins, S., Vega-Murillo, V. E., López-Arellano, M. E. (2019). Estudio de



- asociación genómica para resistencia a *Cooperia punctata* en bovinos cruzados en el trópico subhúmedo de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 10 (2): 482-489. doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4759
- Gomez-Puerta, L.A., Pacheco, J., Angulo-Tisoc, J. (2016). Sobre algunos helmintos parásitos de la taruca, *Hippocamelus antisensis* (Mammalia: Artiodactyla). *Revista Peruana de Biología*, 23 (3): 329-334. doi.org/10.15381/rpb.v23i3.12871
- González-Garduño, R., Navarro-Martínez, F., Arias-Julián, J., Gutiérrez-Cruz, S., Vera, M. Z., Vera, C. Z. (2013). Descripción morfológica de *Haemonchus contortus* y *Mecistocirrus digitatus* de ovinos y bovinos en Tabasco, México. *Avances en Ciencias Veterinarias*, 28 (2): 76-85.
- Herrero, M., Thornton, P. K., Gerber, P., Reid, R. S. (2009). Ganadería, medios de subsistencia y medio ambiente: comprensión de las compensaciones. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1 (2): 111-120. doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.003
- INEGI., 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Llera, Tamaulipas. Clave geoestadística 28019. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/28/28019.pdf
- Kocan, K. M., De la Fuente, J., Blouin, E. F., Coetzee, J. F., Ewing, S. A. (2010). The natural history of *Anaplasma marginale*. *Veterinary Parasitology*, 167: 95–107. doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.09.012
- Leos-Rodríguez, J. A., Serrano-Páez, A., Salas-González, J. M., Ramírez-Moreno, P. P., Sagarnaga-Villegas, M. (2008). Caracterización de ganaderos y unidades de producción pecuaria beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 5 (2): 213-230. ISSN 1870-5472. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360533080005>
- Ojeda-Chi, M., Rodríguez-Vivas, R., Esteve-Gasent, M., Pérez, L., Modarelli, J., Villegas-Perez, S. (2019). Molecular detection of rickettsial tick-borne agents in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus yucatanensis*), mazama deer (*Mazama temama*), and the ticks they host in Yucatan, Mexico. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 10: 365–370. doi.org/ 10.1016/j.ttbdis.2018.11.018



- Munguía-Xóchihua, J., Navarro-Grave, R., Hernández-Chávez, J., Molina-Barrios, R., Cedillo-Cobián, J., Granados-Reyna, J. (2018). Parásitos gastroentéricos, población *haemonchus contortus* en caprinos en clima semiárido de Bacum, Sonora, México. *Abanico veterinario*, 8 (3): 42-50. doi.org/10.21929/abavet2018.83.2
- Ramos, C. A., Araújo, F. R., Souza I. F., Guedes S. Jr, Oliveira H.M., Farias T. A., Oliveira J. B., Alves L. C., Faustino A. G. (2010). Comparação entre diversos antígenos para o diagnóstico de *Anaplasma marginale* por ELISA. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 30(1): 37-41. doi.org/10.1590/S0100-736X2010000100006
- Sepúlveda-Crespo, D., Reguera, R. M., Rojo-Vázquez, F., Balaña-Fouce, R., Martínez-Valladares, M. (2020). Drug discovery technologies: caenorhabditis elegans as a model for anthelmintic therapeutics. *Medicinal Research Reviews*, 1-39. doi.org/10.1002/med.21668
- Soca, M., Roque, E., Soca, M. (2005). Epizootiología de los nematodos gastrointestinales de los bovinos jóvenes. *Pastos y forrajes*, 28 (3): 175-185. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121675001
- Téllez-Delgado, R., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. Á., García-Mata, R., García-Salazar, J. A. (2012). Caracterización del consumidor de carne Bovina en la zona metropolitana del Valle de México. *Agrociencia*, 46 (1): 75-86. ISSN 2521-9766. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000100007&lng=es&tlng=es



Parásitos gastrointestinales en bovinos de la Costa Sur de Jalisco, México

Shasta Danaé Chávez Radillo¹, Ricardo Vicente Pérez^{*1,2}, Pedro Fabián Grifaldo Alcántara^{1,2}, Enrique Octavio García Flores^{1,2}, Ricardo Martínez Martínez^{1,2}, Ulises Macías Cruz³

¹Programa de Ingeniero Agrónomo y ²Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Avenida Independencia Nacional No. 151, Colonia Centro, C.P. 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México. ³Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta S/N, C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Baja California, México.
shasta.chavez@alumnos.udg.mx, ricardo.vperez@academicos.udg.mx*,
pedro.grifaldo@academicos.udg.mx, eoctavio.garcia@academicos.udg.mx,
ricardo.mmartinez@academicos.udg.mx, umacias@uabc.edu.mx

Introducción

La parasitosis gastrointestinal es de las principales enfermedades que causan disminución en la productividad en el ganado bovino en todo el mundo, principalmente afecta a los animales jóvenes. Los parásitos se encuentran alojados en el tracto digestivo del animal, causan daños como reducciones en las tasas de crecimiento, reducen la fecundidad e incrementan la mortalidad, repercutiendo en la economía de los ganaderos y empresas productoras. Algunos efectos directos de los parásitos gastrointestinales (PGI) es la pérdida de sangre y de proteína sérica, alteración del metabolismo proteico y reducción de la disponibilidad de minerales, lo cual como consecuencia desencadena diarreas, falta de apetito y anemia. Estas alteraciones en conjunto provocan reducción de la tasa de crecimiento en animales jóvenes, y mermas en el rendimiento de carne y leche en animales en producción. Además, los animales con PGI son vulnerables al ataque de agentes oportunistas causantes de enfermedades.

La distribución y epidemiología de los endoparásitos está presidida por la ubicación geográfica de sus hospederos o las condiciones propicias para que el parásito se desarrolle, tales como humedad por encima de 80% y temperaturas altas entre 25-27°C. Aunque se conocen los grupos de parásitos y géneros de nematodos presentes en las principales regiones productoras de ganado bovino en México, en la Costa Sur de Jalisco es escasa la información al respecto. La presente revisión tiene como objetivos describir la importancia de los PGI y nematodos gastroentéricos en bovinos, los factores de riesgo asociados a su distribución y finalmente identificar los géneros de nematodos gastrointestinales en bovinos de Costa Sur de Jalisco, su distribución y el tipo de infestación prevalecientes en el ganado bovino de dicha región.

Aspectos generales de los PGI

Los parásitos son aquellos organismos vegetales o animales que aprovechan o explotan a otro organismo denominado hospedero, del cual obtienen alimento o hábitat en forma parcial o total. La importancia de su control radica en que una población alta provoca



distintos tipos de daño en el hospedero, incluso matan otros agentes biológicos que son benéficos dentro del organismo del huésped. Los parásitos tienen adaptabilidad en distintos hábitats que el huésped, les brinda ya sea piel o tejidos subcutáneos, cavidades, tejidos internos y sangre. Un animal puede llegar a albergar una o varias especies de parásitos, quienes a su vez podrían ser cientos o miles.

Los parásitos pertenecientes al reino vegetal se denominan fitoparásitos y los del reino animal zooparásitos. Los zooparásitos se clasifican en: ectoparásitos y endoparásitos, los primeros habitan y crecen en la parte externa del hospedero, en tanto los endoparásitos se desarrollan dentro del hospedero, es decir, en los órganos internos del individuo.

Entre los endoparásitos se encuentran los siguientes tipos: los protozoos o protozoarios, trematodos, cestodos y nematodos. Los géneros pertenecientes a protozoarios son: *Eimeria zuernii*, *E. bovis* y *Cryptosporidium*. En los trematodos destacan los géneros: *Paramphistomum*. Algunos de los géneros de la clase Cestoda son: *Moniezia* y *Cysticercus bovis*. Por su parte, entre los géneros de la clase nematodo encontramos a: *Haemonchus contortus*, *Mecistocirrus digitatus*, *Ostertagia ostertagi*, *Trichostrongylus*, *Cooperia*, *Nematodirus*, *Oesophagostomum*, *Dictyocaulus viviparus* y *Fasciola hepatica*.

Los nematodos

Los nematodos pertenecen al *phylum Nematelminthes*, clase nematoda, orden *strongylida*, familia *trichostrongylidae* y cuenta con una cantidad de doce mil especies conocidas. Los nematodos son fusiformes, cilíndricos y no segmentados de reproducción sexual, con dimorfismo sexual y su estructura consta de una pared del cuerpo, tubo digestivo, aparato excretor, sistema nervioso y órganos sensoriales. A su vez cada parte está estructurada por distintos componentes, la pared contiene una cutícula la cual cambia periódicamente por lo que se considera que su crecimiento es discontinuo. El desarrollo se completa a través de 4 mudas en sus 4 estadios larvales. En el tubo digestivo encontramos la boca, faringe, intestino, recto, ano en hembras y en los machos recto y cloaca. Las dimensiones varían de 0.3 a 30 mm dependiendo su especie y género. Por ejemplo, los machos del género *Bunostomum* miden 15 mm mientras las hembras miden 25 mm, *Haemonchus* por su parte presenta un tamaño de 18 mm en machos y 30 mm en hembras y los *Trichostrongylus* machos miden de 4 a 7 mm y de 5 a 8 mm las hembras.



Ciclo de vida de nematodos

El ciclo de vida de los nematodos dura aproximadamente 21 días, inicia con las larvas L3, se ingiere desde los pastos donde esta se encuentra y se desarrolla en el aparato digestivo del hospedero. En estado adulto pone huevos en el sistema digestivo, mismos que son expulsados con la materia fecal del bovino, estos huevos una vez fuera y con ayuda de la temperatura y humedad del ambiente se desarrollan hasta llegar a larvas L3.

Los huevos son expulsados del animal parasitado por medio del excremento logrando su diseminación en el campo. En condiciones de temperatura y humedad adecuadas los huevos eclosionan en 1 o 2 días dando paso a larvas de primer estadio (L1), de estructura simple. La larva L1 comienza a alimentarse de materia fecal, agua y esporos de hongos, no posee por completo la capacidad de trepar pastos por su baja motilidad por lo que por un periodo breve de tiempo queda inmóvil hasta que llega a su segundo estadio (L2). La larva L2 tiene morfología similar a L1, pero esta larva es de mayor tamaño, que entre 2 y 3 días pasa a ser L3. En estadio L3 se mantiene la vaina externa de la muda de L2 y se alimenta de sus propias reservas contenidas en las células intestinales, además en este estadio tienen mayor motilidad y capacidad para trepar tallos y hojas de pasto, por lo cual se le considera como el estadio infectante.

Después de un periodo de 30 minutos de que las larvas L3 fueron ingerido por el huésped, estas se descubren de sus vainas para alojarse en la mucosa del abomaso o intestino, en donde mudan a L4 y L5 para finalmente transformarse en nematodos maduros con sus diferentes formas sexuales. En esta última fase de L3 al estadio adultos pueden transcurrir hasta 20 días, lo cual puede variar acorde al género.

Nematodos en bovinos

La nematodosis gastrointestinal es el reflejo de la acción conjugada de varios géneros y especies de parásitos, en general provocan distintos síntomas en los animales infectados. Cuando un animal se infecta por parásitos encontramos el mayor número de larvas L3 en el tracto digestivo, aunque una infección por PGI afecta todas las partes del organismo del animal, como lo son los pulmones, hígado, cavidades orgánicas, vasos sanguíneos, corazón, cerebro y ojos. Una vez ingerido los parásitos suelen alojarse en distintas regiones del tracto digestivo del animal, en el abomaso encontramos *Ostertagia*, *Haemonchus*, *Trichostrongylus* y *Mecistocirrus*; en el intestino delgado se alojan *Trichostrongylus*, *Cooperia*, *Nematodirus*, *Bunostomum*, *Strongyloides* y *Toxocara*, en tanto en el intestino grueso se tiene la presencia de *Oesophagostomum* y *Trichuris*.

Los efectos que los parásitos causan a los bovinos es variado, debido a la diversidad de especies que existen. Los síntomas en ocasiones no siempre se detectan hasta que el animal ya está muy enfermo. Acorde al tipo de infección parasitaria (simple o múltiple) y



gravedad, los efectos que los PGI provocan en bovinos pueden ser: inapetencia, inactividad, pérdida de peso, distensión abdominal, diarrea, deshidratación, pelo seco y quebradizo, mucosas pálidas, edemas y, aumento de la frecuencia cardiaca y respiratoria; en general acompañadas de anemia como consecuencia de todo lo anterior.

A continuación, se presenta una descripción breve de la sintomatología en los bovinos que provocan algunos géneros de NGI:

- *Bunostomum phlebotomum* ocasiona anemia, edemas, diarrea, dolor abdominal, erizamiento del pelo, palidez de mucosas, postración, en ocasiones dermatitis alérgica en el espacio interdigital y la muerte.
- *Cooperia* genera pérdida del apetito y peso, diarrea y edemas submaxilares.
- *Haemonchus* causa anemia, piel y mucosas pálidas, disminución en la ingesta por inflamación de la mucosa abomasal, diarrea por la baja asimilación del alimento y muerte.
- *Oesophagostomun* provoca mala absorción de líquidos lo que causa diarreas acuosas.
- *Ostertagia* produce abomasitis crónica, diarrea, hipoproteinemia y anemia.
- *Nematodirus* genera diarrea, enteritis, hipoproteinemia, edema periférico, pelo hirsuto, pérdida de apetito y un crecimiento reducido.
- *Toxocara vitulorum* causa debilidad, anemia, desarrollo deficiente, estreñimiento o diarrea, aunque estos al ser excretados para un cese de la enfermedad aun así existe la posibilidad de un daño interno como perforación y obstrucción del intestino.
- *Trichuris* se evidencia con anemia, anorexia, diarrea con moco y sangre, poco crecimiento y muerte.
- *Strongyloides papillosus* estos son más dados a los recién nacidos e inmunodeprimidos generando diarrea.
- *Trichostrongylus axei* primero daña la mucosa intestinal que a su vez ocasiona enteritis, diarrea, estreñimiento, anorexia, pérdida de peso, heces con moco y/o sangre y la muerte.

Diseminación

La diseminación está estrechamente ligada a las vías de entrada y salida; las excretas de los animales son contaminantes del suelo, junto con el agua, estos son los medios principales de propagación de los distintos tipos de parásitos. Acorde a lo anterior, las principales vías de entrada de estos parásitos son:

- Oral, al beber o consumir alimentos contaminados.
- Cutánea, es decir, por la piel del animal.
- Transplacentaria, dado en aquellas hembras gestantes contenientes de algunos estados larvarios en la sangre por la cual se interceptan en la placenta.



- Transcalostrado, los huéspedes en estado lactante infestan al recién nacido al alimentarlo.

Factores asociados a su prevalencia

Algunos de los factores predisponentes para la presencia de nematodos en bovinos son:

- La edad, donde aquellos que se encuentran en destete y los de 24 a 30 meses de edad son más susceptibles a ataques de parásitos.
- La raza es vista como otro factor ya que las pertenecientes a *Bos taurus* tienen menos resistencia que las *Bos indicus*.
- El estado nutricional, un animal bien nutrido soporta en mayor medida las infecciones, además la calidad del alimento es importante para mantener la salud del animal.
- Estado fisiológico del animal, es decir, en la preñez, lactancia, destete y todo aquello que requiere alteraciones hormonales en los bovinos.
- Mala higiene tanto en forrajes como en las instalaciones, la poca limpieza logra ser un foco de infección y desarrolla distintos parásitos.
- Temperatura de 22 a 26°C y humedad de 85 a 100% son ideales para el desarrollo larvario.

Otro factor puede ser el agua brindada a los animales, debido a que su origen podría no ser el más higiénico que puede albergar huevos y larvas de PGI con mayor facilidad. Los espacios, en estabulación o pastoreo libre, la alta densidad en espacios reducidos que genera mayor contacto entre animales, o bien el sobrepastoreo tiene más cantidad de heces en el área por lo que los pastos de consumo tienden a contener niveles más altos de larvas.

Control

El control de parásitos se basa en la aplicación de antiparasitarios, donde los grupos químicos más utilizados son lactonas macrocíclicas, ricobendazole, benzimidazoles orales y levamisoles. Estos productos químicos tienen más de 40 años en el mercado para el manejo de enfermedades gastrointestinales por parásitos en el ámbito ganadero. Algunos productos de acción sistémica son abamectinas e ivermectinas, debido a que son de amplio espectro, larga duración residual y atacan los distintos estadios del parásito. Una desventaja de solo mantener estos productos por muchos años es que los parásitos han generado resistencia. Esto obliga a los ganaderos a realizar periódicamente exámenes coproparasitológicos para determinar el grado de infestación y así volver eficiente el uso de los productos químicos, pero esta práctica no se realiza ya que afecta aún más la resistencia de los parásitos a productos químicos. Por otro lado, el control bioecológico ha incrementado al crear conciencia sobre los productores al conocer la biología de los parásitos.



Métodos de laboratorio para identificación de PGI

Para la colecta e identificación de parásitos gastrointestinales en bovinos en el ámbito parasitológico existen los siguientes métodos: Método de flotación, método de sedimentación, Técnica McMaster, Técnica de Baermann, coprocultivos y exámenes de orina. Para realizar los métodos antes mencionados se requiere coleccionar muestras fecales, para las cuales es necesaria la utilización de: guantes y frascos o algún recipiente donde depositar las heces. Para extraer las muestras de heces se introduce la mano en el recto del bovino con la cara dorsal hacia arriba y luego se gira para coleccionar el excremento. Se extrae la muestra de heces y se deposita en un contenedor para su traslado, este mismo, se debe rotular con datos del animal y establecimiento donde se tomó la muestra. Posteriormente, la muestra se guarda o refrigera a 4°C para analizar en laboratorio en un periodo no mayor a 36 horas.

Distribución de PGI en el estado de Jalisco

Los nematodos con más presencia a nivel mundial son: *Trichostrongylus spp*, *Haemonchus spp*, *Ostertagia spp*, *Cooperia spp*, *Oesophagostomum spp* y *Nematodirus spp*. Los géneros más frecuentes en México son: *Haemonchus*, *Cooperia*, *Trichostrongylus*, y *Oesophagostomum*. En estudios en el 2004 en México, en el estado de Veracruz se identificaron los siguientes nematodos: *Cooperia* en un 41%, *Ostertagia* y *Haemonchus* con un 13%, *Trichostrongylus* en 6%, *Moniezia* 4%, *Trichuris ovis* y *Toxocara vitulorum* en 3%, y *Chabertia ovina* 1%. En Guerrero encontraron 47.8% de incidencia en época de lluvias (junio y julio) y 46.2% en época de secas (febrero, marzo y mayo); los parásitos detectados fueron: protozoarios y nematodos.

En el estado de Jalisco se han realizado algunos estudios sobre la prevalencia de PGI en bovinos. En 1994 en Tlajomulco de Zúñiga se encontró 11 géneros de parásitos de ganado bovino en los meses de marzo a junio. Las especies fueron: *Eimeria spp* 43.68%, *Bunostomum spp* 38.61%, *Haemonchus spp* 38.26%, *Ostertagia spp* 35.37%, *Trichostrongylus spp* 33.21%, *Cooperia spp* 27.43%, *Chabertia spp* 24.54%, *Oesophagostomum spp* 22.74%, *Strongyloides spp* 16.6%, *Tricuris spp* 6.94 y *Moniezia spp* 9.97%. En el mismo año, en exámenes coproparasitológicos a muestras de 300 bovinos coleccionadas en Guadalajara, Tlaquepaque y Zapopan solo encontraron el 9.7% de la población afectada, siendo *Cooperia* el único género encontrado. En el 2002, en ganado semi-estabulado se realizaron un total de 500 muestras donde los géneros encontrados fueron *Trichostrongylus*, *Cooperia* y *Haemonchus* en mayor frecuencia y *Oesophagostomum*, *Trichuris* y *Ostertagia* en menor cantidad. En bovinos tratados con moxidectina, ivermectina y levamisol en el municipio de Etzatlán, los porcentajes de géneros de NGI osciló para *Haemonchus* de 35 a 42%, *Cooperia* de 38 a 28%,



Trichostrongylus de 7 a 33%, *Chabertia* de 0 a 19%, *Bunostomum* de 0 a 4%, *Oesophagostomum* de 0 a 3%, y *Ostertagia* de 0 a 2%.

En el libro “Epidemiología de enfermedades parasitarias en animales domésticos” se informa sobre algunos resultados de estudios realizados en la región Sierra de Amula entre 1973 y 1997. En el año de 1973 en los municipios de Juchitlán, Tecolotlán y Tenamaxtlán se encontró un total de 6.6% de incidencia de parásitos en 100 animales cuyo sistema de producción era semi-estabulado. En Cuautla se realizó una investigación en el año 1992 para establecer la frecuencia de helmintos en sistema extensivo, se encontró una prevalencia de 25.7% para *Oesophagostomum*, 2.5% *Ostertagia*, 7.7% *Haemonchus*, 15.3% *Trichostrongylus*, 6.7% *Cooperia* 0.2% *Bunostomum* y 2.3% *Toxocara*. En el año 1997 en el municipio de Autlán de Navarro se realizó un estudio en 400 muestras de bovinos donde el 38.6% mostró presencia de nematodos, distribuidos como a continuación se indica: *Haemonchus* (32%), *Cooperia* (15.3%), *Trichostrongylus* (13%), *Bunostomum* (11.5%), *Trichuris* (3.8%) y *Chabertia* (0.76%).

Nematodos gastrointestinales bovinos en la Costa Sur de Jalisco

La región Costa Sur se compone por los municipios de Casimiro Castillo, Cihuatlán, Cuautitlán de García Barragán, La Huerta, Villa Purificación y Tomatlán. Su territorio abarca 9,656.98 km², alturas entre 0 y 2,880 msnm. El clima de la región es cálido subhúmedo, con temperatura media de 24.9°C, temperatura mínima promedio de 14.6°C y máxima promedio de 35.5°C. El promedio de precipitación anual es de 1,250 mm.

En la región Costa Sur de Jalisco se identificaron 5 géneros de parásitos gastrointestinales en el área de estudio. Los géneros de parásitos gastrointestinales que se identificaron en la Costa Sur en orden a su prevalencia fueron *Trichostrongylus*, *Ostertagia*, *Oesophagostomum*, *Nematodirus* y *Haemonchus*. En coincidencia, en dos regiones del estado de Sonora México con clima templado subhúmedo y cálido subhúmedo los géneros con mayor frecuencia en bovinos jóvenes y adultos fueron *Haemonchus*, *Oesophagostomum*, *Trichostrongylus*, *Cooperia* y *Ostertagia*.

La distribución de los parásitos gastrointestinales responde a preferencias climáticas, por ejemplo, *Ostertagia spp.* y *Nematodirus spp.* se adaptan mejor a climas fríos y se encuentran en zonas templadas. Los géneros *Haemonchus spp.* y *Oesophagostomum spp.* prefieren climas cálidos, mientras *Trichostrongylus spp.* es capaz de completar su ciclo biológico de forma uniforme en cualquier tipo de clima. En este sentido, la preferencia climática de los propios parásitos explica en gran medida la incidencia que presentaron los parásitos en la región Costa Sur que posee climas templados subhúmedo. Por otro lado, *Haemonchus spp.* aunque tiene gran persistencia en distintos tipos de climas, las larvas infectivas tienen mayor probabilidad de supervivencia en



meses posteriores a las lluvias, lo cual puede explicar su baja incidencia encontrada en el presente estudio. Además, la infestación simple, doble y triple por parásitos gastrointestinales coincidió con el estudio desarrollado en Sonora México, donde se encontró que estos tres tipos de infección fueron las más comunes en bovinos jóvenes y adultos.

Conclusiones

Los principales géneros de nematodos que se han descrito en algunas regiones cálidas de México destacan *Ostertagia*, *Haemonchus*, *Oesophagostomum*, *Trichostrongylus* y *Cooperia*. En Jalisco, destacan los géneros *Haemonchus*, *Trichostrongylus*, *Cooperia*, *Ostertagia*, *Trichuris* y *Bunostomum*. En la Costa Sur de Jalisco se identificaron cinco géneros de nematodos en vacas adultas. Los géneros identificados en orden a su prevalencia fueron *Trichostrongylus*, *Ostertagia*, *Oesophagostomun*, *Haemonchus* y el género *Nematodirus*. Se recomienda a los ganaderos llevar un calendario de desparasitación para tener control sobre los periodos de desparasitación y que conozcan los tipos de desparasitante e ingrediente activo que aplican cada vez. De esta manera, se puede asegurar romper los ciclos de vida de los parásitos, además se puede alternar desparasitantes o tipos de control parasitario con el fin de evitar generar resistencia de los nematodos hacia el antihelmíntico.

Referencias

- Charlier, J., Höglund, J., Morgan, E. R., Geldhof, P., Vercruyse, J., Claerebout, E. (2020). Biology and Epidemiology of Gastrointestinal Nematodes in Cattle. *The Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 1-15. doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.001
- Craig, T. M. (2018). Gastrointestinal nematodes, diagnosis and control. *The Veterinary clinics of North America. Food Animal Practice*, 34(1), 185-199.
- Domínguez, J., Rodríguez, R., Honhold, N. (1993). Epizootiología de los parásitos gastrointestinales en bovinos del estado de Yucatán. *Veterinaria México*, 24(3), 189-193. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=14358>
- Encalada Mena, L. A., López-Arellano, M. E., Mendoza de Gives, P., Liébano Hernández, E., Vázquez Prats, V., Vera-Ycuspinera, G. (2008). Primer informe en México sobre la presencia de resistencia a ivermectina en bovinos infectados naturalmente con nematodos gastrointestinales. *Veterinaria México*, 39(4), 423-428. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922008000400006



- Fernández-Figueroa, A., Arieta-Román, R., Graillet-Juárez, E., Romero-Salas, D., Romero-Figueroa, M., Felipe-Ángel, I. (2015). Prevalencia de nemátodos gastroentéricos en bovinos doble propósito en 10 ranchos de Hidalgotitlán Veracruz, México. *Abanico Veterinario*, 5(2), 13-18. <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-veterinario/article/view/85>.
- Figueroa-Antonio, A., Pineda-Rodríguez, S., Godínez-Jaime, F., Vargas-Álvarez, D., Rodríguez-Bataz, E. (2018). Parásitos gastrointestinales de ganado bovino y caprino en Quechultenango, Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11 (6), 97-104. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/438>.
- Hodda, M. (2022). Phylum Nematoda: a classification, catalogue and index of valid genera, with a census of valid species. *Zootaxa*, 5114 (1), 001-289. doi.org/10.11646/zootaxa.5114.1.1.
- Munguía-Xóchihua, J., Leal-Franco, I., Muñoz-Cabrera, J., Medina-Chu, M., Reyna-Granados, J., López-Castro, P. (2019). Frecuencia de parásitos gastrointestinales en bovinos del sur de Sonora, México. *Abanico Veterinario*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.21929/abavet2019.919>
- Okulewicz A. (2017). The impact of global climate change on the spread of parasitic nematodes. *Annals of Parasitology*, 63(1), 15-20. doi.org/10.17420/ap6301.79
- Quiroz, R.H., Figueroa, C.J.A., Ibarra, V.F. y López, A.M.E. (2011). Epidemiología de enfermedades parasitarias en animales domésticos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Quiroz, R. H., Mateos, R. A., Gómez, F. L. E., Cruz, M. I., Ulloa-Arvizur. (2012). Comparación del efecto de moxidectina e ivermectina sobre nematodos y la ganancia de peso en bovinos en Jalisco, México. *Revista Ibero-Latinoamericana de Parasitología*, 71(1), 62-69. <https://fmvz.unam.mx/fmvz/secretarias/general/articulos/56.pdf>
- Rodríguez-Vivas, R. I, Cob-Galera, L. A., Domínguez-Alpizar, J. L. (2001). Frecuencia de parásitos gastrointestinales en animales domésticos diagnosticados en Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 12(1), 19-25. doi.org/10.32776/revbiomed.v12i1.253
- Rodríguez-Vivas, R. I., Grisi, L., Pérez de León, A. A., Villela, H. S., Torres-Acosta, J. F. J., Fragoso-Sánchez, H., Romero-Salas, D., Rosario-Cruz, R., Saldierna, F.,



-
- García-Carrasco, D. (2017). Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 61-74. doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4305
- Sabatini, G. A., De Almeida-Borges, F., Claerebout, E. (2023). Practical guide to the diagnostics of ruminant gastrointestinal nematodes, liver fluke and lungworm infection: interpretation and usability of results. *Parasites Vectors*, 16, 58. doi.org/10.1186/s13071-023-05680-w
- Soca, M., Roque, E.. Soca, M. (2005). Epizootiología de los nematodos gastrointestinales de los bovinos jóvenes. *Pastos y Forrajes*; 28 (3), 175-185. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121675001.pdf>
- Titcomb, G., Mantas, J., Hulke, J., Rodriguez, I., Branch, D., Young, H. (2021). Water sources aggregate parasites with increasing effects in more arid conditions. *Nature Communications*, 12, 7066. doi.org/10.1038/s41467-021-27352-y
- Vande, V. F., Charlier, J., Claerebout, E. (2018). Farmer behavior and gastrointestinal nematodes in ruminant livestock—uptake of sustainable control approaches. *Frontier in Veterinary Science*, 5, 255. doi:10.3389/fvets.2018.00255
- Vázquez, V., Flores, J., Santiago, C., Herrera, D., Palacios, A., Liébano, E., Pelcastre, A. (2004). Frecuencia de nematodos gastroentéricos en bovinos de tres áreas de clima subtropical húmedo de México. *Técnica Pecuaria en México*, 42(2), 237-245. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1414/1409>



Probióticos acelulares en la salud animal

Pamela Izaret Pérez Martínez^{1*}, Cristal Dafne Lonngi Sosa¹, Hugo Ramírez Álvarez²,
Cynthia González Ruiz¹

¹Unidad de Investigación Multidisciplinaria L8, ²Laboratorio de Virología Veterinaria, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan, Km 2.5, Col. Xhala, Cuautitlán Izcalli, 54714, Estado de México, México. izateami@hotmail.com*, skriztal@gmail.com, ramiralh@unam.mx, cgrmvz@hotmail.com.

Introducción

Todos los organismos se enfrentan diariamente a patógenos que dependiendo de su estado inmunológico y nutricional pueden llegar a establecerse y causar desde infecciones leves hasta la muerte. Aunado a la resistencia bacteriana que se ha generado por el uso excesivo de antibióticos se ha vuelto relevante el uso de otros tratamientos que contrarresten las enfermedades que afectan el tracto gastrointestinal (TGI).

El uso de probióticos en la humanidad data de hace más de 10 000 años, cuando se comenzaron a aplicar procesos de fermentación en los alimentos (vinos, quesos, pan, etc.) y en 1908 Elie Metchnikoff atribuyó la longevidad de ciertas poblaciones al consumo de lácteos fermentados puesto que con su uso se «reducirían las toxinas producidas por las bacterias intestinales, promoviendo la salud y prolongando la vida». La OMS define a los probióticos como microorganismos vivos que, cuando son administrados en cantidades adecuadas, confieren beneficios para la salud del hospedero. En los últimos 20 años, se ha extendido el uso de probióticos en diferentes campos productivos y de investigación, gracias a los beneficios en la salud de seres humanos y animales. Además de su utilidad en la conservación de alimentos, disminuyendo así el uso de químicos y antibióticos en la alimentación.

A lo largo del tiempo han surgido nuevos conceptos relacionados a los probióticos que es importante destacar y de los cuales se hablará en esta revisión. Se define como prebióticos a los sustratos selectivamente utilizados por los microorganismos del hospedero que confieren un beneficio a la salud, mientras que los simbióticos son una mezcla que comprende microorganismos vivos y sus sustratos selectivos utilizados por los microorganismos del hospedador y que le confieren un beneficio a su salud.

A partir de avances científicos se ha descubierto que no solo los probióticos si no también algunos de sus componentes poseen un efecto benéfico, es por esto por lo que desde 2019 la Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos (ISAPP por sus siglas en inglés) introdujo el nuevo término de postbiótico como una herramienta más



para mejorar la salud. Un postbiótico es una preparación de microorganismos inanimados y/o sus componentes que confiere un beneficio para la salud del hospedero.

Principales probióticos

Para que un microorganismo sea considerado como un probiótico debe cumplir ciertos criterios como: estar correctamente identificado, carecer de factores de virulencia, haber demostrado su efectividad mediante ensayos clínicos, ser tolerantes al ambiente y mantenerse viables en el TGI así como resistir las condiciones de procesado y conservación de los productos que formaran parte.

Los principales microorganismos que se han utilizado como probióticos son las bacterias y levaduras entre los que destacan los géneros, *Lactobacillus* sp, *Bifidobacterium* sp, *Streptococcus* sp, *Enterococcus* sp, *Escherichia no patógena* y *Saccharomyces* sp. Actualmente se comercializan como parte de alimentos, pastillas, polvos y bebidas. La mayoría de las presentaciones contiene dos o más especies, las más utilizadas son *Lactobacillus rhamnosus* GG, *L. reuteri*, *L. casei*, *L. paracasei*, *Bacillus coagulans*, *B. clausii*, *Bifidobacterium infantis*, *B. longum*, *B. infantis*, *Streptococcus thermophilus*, *Escherichia coli* (cepa Nissle 1917), *Enterococcus spp.*, *Pediococcus spp.*, *Saccharomyces boulardii* y *S. cerevisiae*.

Mecanismos de acción

Los efectos benéficos de los probióticos radican en su capacidad de inhibir y controlar patógenos del TGI además de mejorar el funcionamiento y la capacidad productiva de los animales. El mecanismo de acción de los probióticos incluye los siguientes mecanismos: inhibición de la adhesión de patógenos, producción de componentes antimicrobianos (bacteriocinas y defensinas), exclusión competitiva de microorganismos patógenos, mejoran la función de barrera, reducción del pH luminal y modulación del sistema inmunológico. Los probióticos promueven las condiciones de salud al inhibir las bacterias dañinas.

Usos de los probióticos

El uso de los probióticos se ha expandido a especies diferentes al humano, los animales suplementados con probióticos de bacterias ácido lácticas (BAL), muestran un incremento en la resistencia y eficiencia en la eliminación de patógenos. Algunas de las especies mayormente estudiadas respecto a los efectos positivos brindados por las BAL, son los rumiantes, entre ellos los bovinos, ovinos y caprinos. En los primeros, se ha observado una mejora en la producción de leche en vacas Holstein, mezclando prebióticos y probióticos en la dieta. En otras especies, se ha observado el aumento de ganancia de peso, promoción del crecimiento, disminución del estrés, estimulación de la respuesta inmune, inhibición de patógenos, tal es el caso de *Salmonella* sp, y en la



prevención de diarrea. Estos beneficios se dan gracias a las formas en las que los probióticos de BAL, detienen el crecimiento de agentes patógenos, además de beneficiar a las células intestinales, lo que estimula la absorción de nutrientes, así mismo en los rumiantes el uso de probióticos lácticos, incrementa las concentraciones de amoníaco en el rumen, aumenta la digestibilidad de la fibra y del nitrógeno, así como también aumentan las purinas y los conteos de microbiota intestinal.

En animales monogástricos también se han utilizado diversas especies de probióticos principalmente dirigidos al intestino posterior (ciego, colon) que alberga una abundante y muy diversa microbiota compuesta principalmente por bacterias y arqueas. En cerdos, bacterias como *L. salivarius* UC118 y *E. faecium*, han aumentado la diversidad del microbiota lo que mejora el balance microbiano, la inmunidad y el crecimiento. En cerdas preñadas la administración de probióticos ha mejorado la salud tanto de la madre como de la camada, y al momento del destete el uso de probióticos ha disminuido las infecciones del TGI muy comunes en esta etapa de la vida del animal.

El uso de probióticos en aves de corral ha mejorado el rendimiento de pollos de engorda y generado una mayor resistencia a bacterias patógenas (*Salmonella* sp, *E. coli*, *C. perfringens* y *Campylobacter jejuni*). Al administrarlos en gallinas ponedoras se aumenta la productividad y mejora en la calidad del huevo (disminución del nivel de colesterol en la yema, mejora el grosor de la cáscara y el peso del huevo). Se ha demostrado que el uso de *B. subtilis*, *B. coagulans*, *L. salivarius*, *Pediococcus parvulus*, y *E. faecium* modifica la morfología intestinal al aumentar la altura de las vellosidades y la proporción de estas en la cripta, lo que a su vez aumenta la absorción de nutrientes. También al igual que en otras especies, aumenta la respuesta inmune y la diversidad de la microbiota.

La acuicultura también se ha visto beneficiada por el uso de probióticos, ya que promueven el crecimiento y la reproducción de los animales que viven en el agua, los protegen de los patógenos, fortalecen la inmunidad, ayudan en la digestión, mejoran la calidad del agua y funcionan como una alternativa a los antibióticos, ya que el uso indiscriminado de éstos ha aumentado el número de bacterias resistentes que son transmitidas a los humanos.

El uso de los probióticos no se ha restringido a los animales de producción, sino que también se utilizan en animales de compañía. El estudio del microbioma de los perros ha ganado mucha fuerza por la similitud con el de humanos debido a la cercanía de ambas especies. Dichos estudios han permitido la generación de probióticos combinados que ayuden a la salud animal. Como cualquier especie, los problemas del TGI son muy comunes, se ha encontrado que el uso de *B. animalis* AHC7 y *L. rhamnosus*, han disminuido la diarrea y la presencia de bacterias patógenas en las heces. También se ha



observado, que el uso de probióticos mejora los niveles de proteína total, colesterol y alanina transaminasa en muestras de sangre. En gatos son escasos los estudios sobre el uso de probióticos, pero con los que se han reportado no queda duda del efecto beneficioso de su uso. Al administrar *L. acidophilus* DSM13241 en gatos adultos sanos, se aumentó la cantidad de lactobacilos en las heces y disminuyó la cantidad de *Clostridium* spp. y *E. faecalis*. También se ha visto que se disminuyen el pH fecal y la concentración de endotoxinas en plasma, así como una mejor respuesta inmune en los gatos tratados.

Inmunomodulación

Uno de los principales efectos benéficos de los probióticos, es la modulación del sistema inmune del hospedero. Múltiples estudios han demostrado que los probióticos pueden mejorar la respuesta inmune tanto innata como adaptativa. En modelos de pollos, *L. fermentum* y *S. cerevisiae* favoreció la respuesta de linfocitos T intestinales, al aumentar la producción de citocinas, y la expresión del mRNA de receptores tipo Toll 2 (TLR) y TLR4.

***L. acidophilus*, *B. subtilis* y *C. butyricum* mejoraron los niveles séricos de IgA e IgM en pollos**

Se dice que los probióticos son inmunomoduladores, es decir son capaces de favorecer o controlar la respuesta inflamatoria. Diversas especies del género *Lactobacillus* sp (*L. gasseri*, *L. salivarius*, *L. fermentum*, *L. crispatus* y *L. delbrueckii*) pueden regular favorablemente el nivel de secreción de las interleucinas proinflamatorias y antiinflamatorias IL-6, IL-8 e IL-10 para controlar la inflamación y reconstruir el equilibrio fisiológico en los animales.

En modelos de alergia alimentaria, se ha demostrado que la suplementación con probióticos ayuda a mantener la integridad de la barrera epitelial intestinal al aumentar la producción de moco, la liberación de IL-22 y factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos (GM-CSF) por parte de las células linfoides innatas en la lámina propia, que promueve la producción de moco y de péptidos antimicrobianos. La presencia de los microorganismos probióticos también favorece la expresión de células T reguladoras y la producción de IgA secretora, lo que promueve la tolerancia sistémica a los alérgenos alimentarios.

Bacterias ácido lácticas

Las bacterias ácido lácticas (BAL) pueden generar una amplia gama de compuestos antimicrobianos para reducir los ataques de patógenos. Estos incluyen péptidos antimicrobianos (AMP), como defensinas, ácidos orgánicos, bacteriocinas, etanol, dióxido de carbono y diacetilo. Se ha demostrado que los ácidos orgánicos como los ácidos grasos de cadena corta, los ácidos fórmicos y el ácido láctico suprimen los



microorganismos dañinos potenciales de importancia en los animales de granja. Los *Lactobacillus* pueden generar ácido láctico como principal producto del metabolismo de la glucosa. Los ácidos orgánicos actúan sobre la pared celular bacteriana, la membrana citoplasmática y funciones metabólicas precisas, como la replicación y la síntesis de proteínas, que conducen a la destrucción y muerte de los microorganismos patógenos *S. enteritidis*, *L. monocytogenes* y *E. coli* que podrían inactivarse de manera efectiva después de la exposición a ácido láctico al 0,5 % durante dos horas. Existe un mecanismo por el cual las BAL pueden ejercer su actividad microbicida, que apenas hace unos años comenzó a estudiarse; la liberación de microvesículas de membrana (MVs).

Microvesículas MVS de BAL

Las MVs, son estructuras esféricas liberadas a partir de la membrana celular de las bacterias tanto Gram positivas como Gram negativas. Dichas estructuras, contribuyen a las bacterias completas de origen, a adaptarse a diversos nichos, compitiendo con otras bacterias por espacios o sustratos que permitan a las bacterias completas ventaja sobre otros sistemas bacterianos, desempeñando un papel crucial en la interacción hospedero-patógeno. Las MVs están formadas por una bicapa lipídica en forma de esfera, que varían de tamaño, desde los 20 nm hasta los 500 nm de diámetro. Hasta ahora se desconoce la forma en que se producen las MVs, sin embargo, las hipótesis se basan principalmente en datos proteómicos de vesículas aisladas. Las teorías más aceptadas sugieren que las MVs se liberan por la presión que ejerce la turgencia sobre la pared de la bacteria, por medio de enzimas modificadoras de pared o por canales de actina y/o tubulina.

La producción de MVs en las células bacterianas, se lleva a cabo de manera constante, pero se sabe que su producción, se ve aumentada durante condiciones de estrés, sugiriendo que los factores ambientales pueden regular su biogénesis. La identificación de la composición de las MVs es crítica para comprender su papel en diferentes procesos biológicos. Dichas estructuras, arrastran una gran cantidad de compuestos durante su formación, dentro de los que se incluyen: ácidos nucleicos, toxinas, lipoproteínas, enzimas y bacteriocinas los cuales desarrollan importantes papeles en la fisiología microbiana y patogénesis.

La primera identificación de MVs en bacterias Gram positivas, fue en *Staphylococcus aureus*, en donde se determinó que contenían una variedad importante de proteínas que cumplen funciones biológicas en la comunicación interbacteriana, la resistencia a los antibióticos, factores de virulencia, así como acarreamiento de proteínas virulentas como Beta-lactamasas y regulación de la biogénesis de MVs. Además, un estudio mostró un enriquecimiento de proteínas específicas, en comparación con sus bacterias progenitoras, lo que indica un empaque selectivo de la carga de proteínas y el suministro de proteínas biológicamente activas. Las proteínas que han sido identificadas en las MVs,



corresponden principalmente a proteínas citoplasmáticas, extracelulares y asociadas a la membrana.

MVs como inmunoestimulantes

Las MVs poseen la misma capacidad probiótica que las células de origen (**Figura 1**), son capaces de estimular al sistema inmune del hospedero, mantener la homeostasis y promover el mutualismo con el hospedero. Cabe destacar que, en muchos casos, la administración de MVs al hospedero, se ha propuesto como más segura y eficiente que los probióticos, evitando los riesgos potenciales que se asocian con la utilización de bacterias vivas, específicamente en pacientes críticos e inmunosuprimidos.

Los efectos de las MVs, están relacionados con la capacidad de interactuar con diferentes células inmunitarias ubicadas en el intestino, como células epiteliales intestinales, macrófagos, linfocitos y células dendríticas, lo anterior mediante receptores de reconocimiento de patrones como TLR y receptores tipo NOD (NLR) y los diferentes patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs).

Sin embargo, el conocimiento sobre la respuesta inmune innata y adaptativa que inducen las MVs de las bacterias Gram positivas, es limitado. Los primeros informes sobre las MVs que activan la vía inmune innata, fue en *S. aureus* al activar el receptor TLR2 y el Inflamasoma NLRP3 mediante el dominio de oligomerización por unión de nucleótidos que contiene la proteína 2 (NOD2), lo que induce la producción de citocinas proinflamatorias (IL-1 β e IL-18). Por otro lado, en cuanto a la respuesta inmune adaptativa, se reportó que *C. perfringens* producía una alta respuesta de IgG1 en ratones, mientras que *Bacillus anthracis*, produce una robusta respuesta de IgM en ratones cuando se encuentran con las toxinas transportadas en las MVs.

Se ha demostrado en modelos *in vitro* que, *L. rhamnosus* es capaz de generar una respuesta de tolerancia mediante la inducción de linfocitos T reguladores (Treg) y a su vez al igual que *L. reuteri* puede, inducir citocinas proinflamatorias como IFN- γ e IL-17. Las MVs de *L. acidophilus* también han demostrado en modelos *ex vivo* e *in vitro* que son capaces de estimular células inmunes al aumentar los mRNA de citocinas proinflamatorias (IL-1 β , TNF- α) en cultivos celulares de la línea celular RAW 264.7 y en monocitos de sangre periférica de rata Wistar. También se demostró que favorecer la migración de células inmunes al sitio de infección en un modelo de explantes de abomaso desafiado con L3 de *Haemonchus contortus*.

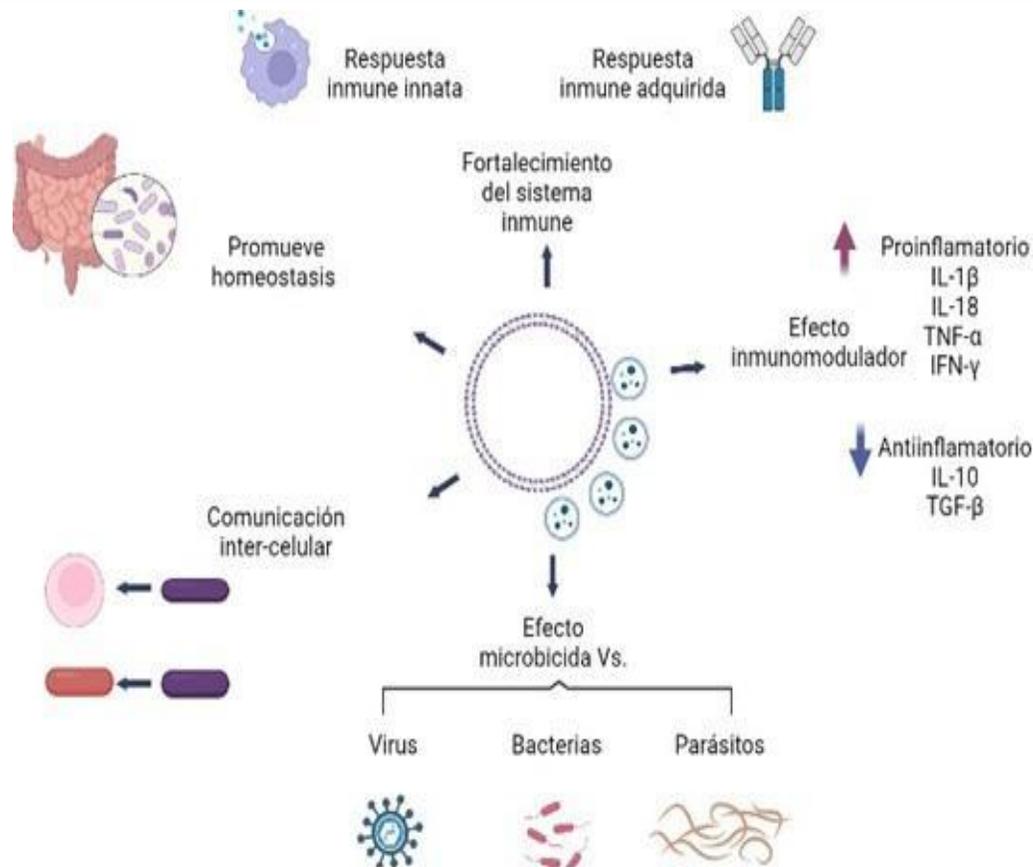


Figura 1. Mecanismo de acción de MVs de BAL. Las MVs derivadas de BAL mantienen los mismos efectos que las bacterias de las que se derivan, al promover la homeostasis del intestino, fortalecer el sistema inmune mediante la producción de anticuerpos y citocinas tanto inflamatorias como antiinflamatorias (inmunomodulación), comunicación intercelular con las diversas bacterias de la microbiota y las células del hospedero, así como el efecto microbicida sobre bacterias, virus y parásitos.

No solo se ha observado un efecto proinflamatorio, sino que también se ha visto que las MVs de *L. plantarum* APsulloc 331261 pueden estimular la producción de citocinas antiinflamatorias como IL-10 y TGF- β . La importante respuesta inmune que las MVs despiertan en el hospedador al contener múltiples componentes inmunoestimuladores, ha generado la idea de que podrían ser utilizadas como vacunas y actualmente existen algunos trabajos al respecto. Las MVs derivados de *Neisseria meningitides* y *Vibrio cholera* se han incorporado en formulaciones de vacunas autorizadas y también se han realizado formulaciones con bioingeniería para modificar el contenido de las MVs y eliminar algunos componentes, que si bien son inmunoestimulantes podrían causar una respuesta exacerbada (por ejemplo, LPS). Además, se realizó una vacuna acelular contra *Mannheimia haemolytica*, enriquecida con MVs de la bacteria, demostrando importante estimulación de la respuesta inmune, tanto local como sistémica, en los sueros de los animales vacunados con estas.



MVs con actividad microbicida

Las bacterias probióticas tienen la capacidad de competir por nichos y eliminar bacterias patógenas, por lo que no es de extrañarse que las MVs derivadas de estas, posean la misma capacidad. Estudios de proteómica han demostrado que las MVs derivadas de lactobacilos poseen potentes bacteriocinas, lo que sugiere que las MV podrían desempeñar un papel en el microbioma intestinal como mecanismos potenciales para regular las poblaciones bacterianas en comunidades complejas a través de la actividad bactericida dirigida. Las MVs de *L. acidophilus* contienen la bacteriocina Lactacina B capaz de matar a bacterias del TGI tanto patógenas como no patógenas. Otro estudio demostró que *L. casei* inhibe la formación característica de Biofilm de *S. enteritidis* al contener hidrolasas de peptidoglicano (PGHs). Las MVs de *L. plantarum* y *L. acidophilus* inhibieron el crecimiento de bacterias patógenas como *S. typhimurium* y *E. coli*, dicha inhibición fue dependiente de la concentración de MVs administradas, teniendo un mayor efecto cuando se evaluaron individualmente que en conjunto.

Las MVs de BAL también tienen efecto sobre otros microorganismos como los parásitos; por ejemplo, en un estudio donde se utilizó un modelo *ex vivo* de explantes de abomaso con *H. contortus*, se demostró que la estimulación de explantes de abomaso con MVs de *L. acidophilus* aislada de íleon de ratas de vida libre, disminuyó la adhesión de las L3 del parásito al tejido abomasal.

Conclusiones

Los microorganismos probióticos han acompañado a la civilización desde tiempos ancestrales otorgando sus efectos benéficos a la salud de los consumidores. El uso de probióticos en la salud animal ha ganado fuerza en los últimos años debido a sus múltiples efectos entre los que destaca la inmunomodulación. Actualmente se han encontrado nuevos mecanismos por los que los microorganismos probióticos ejercen su función benéfica, entre ellos la producción de microvesículas (MVs) que tienen el mismo efecto que la célula que los produce. Las MVs han demostrado tener un potente efecto microbicida, así como inmunomodulador en estudios *in vitro*, lo que las convierte en una opción muy eficiente y segura ya que no hay riesgos en su capacidad de replicación. Un probiótico acelular con estas características, tendrá la capacidad de prevenir y controlar enfermedades producidas por patógenos del tracto gastrointestinal propios de cada especie, ya sea de tipo bacteriano, parasitario y/o viral. De esta manera se contribuye al bienestar animal, menos prevalencia de enfermedades, así como el uso indiscriminado de antibióticos.



Referencias

- Anee, I. J., Alam, S., Begum, R. A., Shahjahan, R., Khandaker, A. (2021). The role of probiotics on animal health and nutrition. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 82, 52. doi.org/10.1186/s41936-021-00250-x
- Da Silva, B.D., Laurent, J., Lourenço, J., Novion Ducassou, J., Couté, Y., Guzzo, J., Rieu, A. (2013). Membrane vesicles released by *Lactocaseibacillus casei* BL23 inhibit the biofilm formation of *Salmonella* Enteritidis. *Scientific Reports* 1, 1163. doi:10.1038/s41598-023-27959-9
- Dean, S. N., Leary, D. H., Sullivan, C. J., Oh, E., Walper, S. A. (2019). Isolation and characterization of Lactobacillus-derived membrane vesicles. *Scientific Reports* 29;9(1), 877. doi: 10.1038/s41598-018-37120-6
- Dean, S. N., Rimmer, M. A., Turner, K. B., Phillips, D. A., Caruana, J. C., Hervey, W. J. 4th, Leary, D. H., Walper, S. A. (2020). *Lactobacillus acidophilus* Membrane Vesicles as a Vehicle of Bacteriocin Delivery. *Frontiers in Microbiology*. 30, 11:710. doi: 10.3389/fmicb.2020.00710
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 14, 491–502. doi: 10.1038/nrgastro.2017.75
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 11, 506–514. doi: 10.1038/nrgastro.2014.66
- Liu, Y., Tran, D. Q., Rhoads, J. M. (2018). probiotics in disease prevention and treatment. *The Journal of Clinical Pharmacology*. 58 Suppl 10, S164-S179. doi: 10.1002/jcph.1121
- Maccelli, A., Carradori, S., Puca, V., Sisto, F., Lanuti, P., Crestoni, M. E., Lasalvia, A., Muraro, R., Bysell, H. Di., Sotto, A., Roos, S., Grande, R. (2020). correlation between the antimicrobial activity and metabolic profiles of cell free supernatants



- and membrane vesicles produced by *Lactobacillus reuteri* DSM 17938. *Microorganisms*. 24, 8(11):1653. doi:10.3390/microorganisms8111653
- Olveira, G., González, I. (2016). An update on probiotics, prebiotics and symbiotics in clinical nutrition. *Endocrinología y Nutrición*, 63(9), 482-494. doi: 10.1016/j.endonu.2016.07.006
- Ozen, M., Dinleyici, E. C. (2015). The history of probiotics: the untold story. *Beneficial Microbes*. 6(2), 159-65. doi:10.3920/BM2014.0103
- Pratap, K., Taki, A. C., Johnston, E. B., Lopata, A. L., Kamath, S. D. (2020). A comprehensive review on natural bioactive compounds and probiotics as potential therapeutics in food allergy treatment. *Frontiers in Immunology*. 22, 11:996. doi: 10.3389/fimmu.2020.00996
- Raheem, A., Liang, L., Zhang, G., Cui, S. (2021). modulatory effects of probiotics during pathogenic infections with emphasis on immune regulation. *Front Immunology*, 8, 12:616713. doi:10.3389/fimmu.2021.616713
- Shin, D., Chang, S. Y., Bogere, P., Won, K., Choi, J. Y., Choi, Y. J., Lee, H. K., Hur, J., Park., Kim, Y., Heo, J. (2019). Beneficial roles of probiotics on the modulation of gut microbiota and immune response in pigs. *PLoS One*, 14(8):e0220843. doi: 10.1371/journal.pone.0220843
- Shkair, L., Garanina, E. E., Stott, R. J., Foster, T. L., Rizvanov, A. A., Khaiboullina, S. F. (2021). membrane microvesicles as potential vaccine candidates. *International Journal of Molecular Sciences*. 24;22(3), 1142. doi:10.3390/ijms22031142
- Swanson, K. S., Gibson, G. R., Hutkins, R., Reimer, R. A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K. P., Holscher, H. D., Azad, M. B., Delzenne, N. M., Sanders, M. E. (2020). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17, 687– 701. doi:10.1038/s41575-020-0344-2



Relación entre el estado metabólico y funcionamiento del eje reproductivo del cerdo

Juan Manuel Romo Valdez¹, Ignacio Peralta Gómez¹, Laura Francisca Espinoza Aguirre¹, Jesús José Portillo Loera¹, Ana Mireya Romo Valdez¹, Javier Alonso Romo Rubio^{1*}

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Boulevard San Ángel, No. 3886, Fraccionamiento San Benito, C.P. 80246. Culiacán Rosales, Sinaloa, México. romo_14@hotmail.com, nachovalenzuela08@hotmail.com, lauraespinoza448@gmail.com, portillo6422@uas.edu.mx, e.ana.romo@uas.edu.mx, romo60@uas.edu.mx*

Introducción

El tejido adiposo tiene un papel dinámico en la homeostasis energética de todo el organismo al actuar como un órgano endocrino. Existe un vínculo fuerte entre las influencias neurales y la expresión y secreción de leptina en los adipocitos. Los cambios de desarrollo en estas relaciones se consideran importantes para la presentación de la pubertad y la función reproductiva. La leptina aumenta la secreción de hormonas gonadotrópicas, que son esenciales para el inicio y el mantenimiento de la función reproductiva normal, al actuar centralmente en el hipotálamo para regular la actividad y secreción neuronal de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Los efectos de la leptina sobre la GnRH están mediados por vías interneuronales que involucran al neuropéptido-Y (NPY), la proopiomelanocortina (POMC) y la kisspeptina. Además, la leptina regula la función reproductiva al alterar la sensibilidad de la glándula pituitaria a la GnRH y actuar en el ovario para regular la esteroidogénesis folicular y lútea. Por lo tanto, la leptina sirve como una señal putativa que vincula el estado metabólico con el eje reproductivo. Así, la función reproductiva de los cerdos está controlada por redes reguladoras complejas, que integran señales periféricas e internas que inciden en los centros cerebrales que impulsan el eje reproductivo.

El descubrimiento de la kisspeptina y el posterior estudio de las neuronas que la expresan en el núcleo arqueado (ARC) y el núcleo periventricular (VeP) del hipotálamo del cerdo mejoraron la comprensión de los mecanismos de retroalimentación del estradiol y la regulación de la liberación de GnRH/LH. Las neuronas kisspeptina-neuroquinina B-dinorfina (red KNDy) en el núcleo ARC estimulan la generación de pulsos de GnRH/LH y las neuronas kisspeptina en el núcleo VeP probablemente estén involucradas en el pico de GnRH/LH. La secreción de pulso y pico está regulada por retroalimentación negativa y positiva del estradiol, respectivamente; que son detectados directamente por las neuronas kisspeptina en cualquiera de las áreas hipotalámicas, pero también pueden modificar las entradas a estas células, así como sus interacciones entre sí.

La GnRH que se sintetiza en un pequeño subconjunto de neuronas hipotalámicas, que forman la vía común final para el control central de la reproducción, integran señales de



esteroides, lactancia, hambre, estrés, saciedad, circadianos, olores y feromonas. Estas señales son transmitidas por neuropéptidos directa y/o indirectamente, así como por neurotransmisores convencionales, transmisores gaseosos, gliotransmisores y otros factores. Las neuronas GnRH sintetizan y secretan GnRH de manera pulsátil desde las terminales axónicas en la eminencia media (EM) hacia la circulación hipotálamo-hipofisaria a través de la cual se transporta a la glándula hipofisaria anterior. Al unirse a receptores específicos (receptores de la hormona liberadora de gonadotropina, GnRHR) en las células gonadotropas de la pituitaria, la GnRH estimula la biosíntesis y la liberación de dos gonadotropinas (hormona luteinizante -LH- y hormona estimulante del folículo -FSH-). La LH y la FSH, que son necesarias para el desarrollo y mantenimiento de las gónadas y, por lo tanto, para la fertilidad, se unen a los receptores de las gónadas para regular la gametogénesis y la esteroidogénesis gonadal en ambos sexos. Se ha demostrado que varios neuropéptidos actúan como moduladores o reguladores de las neuronas GnRH en el hipotálamo porcino, incluidas las kisspeptinas, NPY, POMC, hormona estimulante de los melanocitos (MSH), neuroquinina B (NKB), dinorfina (DYN), leptina, así como los esteroides. Se ha observado que el efecto de coordinación de la señalización neuronal excitatoria junto con la entrada neuronal inhibitoria al generador de pulsos de GnRH controla la función del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (HHG), impulsando y manteniendo así la capacidad reproductiva de los cerdos. El presente documento se centrará en la influencia del estado metabólico, así como en la función de la leptina y la kisspeptina en la modulación del funcionamiento del eje hipotálamo-hipófisis-gónada.

Influencia del estado nutricional en el funcionamiento del eje reproductivo

El estado nutricional influye en la reproducción a través de alteraciones en la secreción de GnRH/LH. Comprender esto es importante para mejorar la producción animal con el fin de maximizar los resultados reproductivos, como las tasas de ovulación y la concepción. Las neuronas GnRH reciben entradas directas de los sistemas neuronales asociados con el estado metabólico, como el NPY, la POMC (neuronas orexigénicas y anorexigénicas de primer orden, respectivamente) y orexina, lo que permite la regulación directa de la secreción de GnRH.

Las neuronas kisspeptina en el ARC de la oveja (especie animal en la que se ha realizado mayor cantidad de estudios al respecto) reciben entradas de las neuronas NPY y POMC. Se ha observado que la administración intracerebroventricular (ICV) de un agonista del sistema POMC aumenta la expresión del ARNm del gen KISS1 (que codifica para expresión de kisspeptina) en las neuronas preópticas. De manera similar, en vaquillas, el consumo elevado de alimento aumenta el porcentaje de neuronas kisspeptina que reciben aposición de fibras que son inmunoreactivas para POMC y MSH. Por lo tanto, las señales del estado nutricional podrían transmitirse a las neuronas kisspeptina a través de



cualquiera o todos estos sistemas neuronales. También se ha determinado que la infusión ICV de leptina revierte los niveles bajos de ARNm del gen KISS1 tanto en el área preóptica (APO) como en el ARC de ovejas magras (bajos depósitos de grasa). Este podría ser un efecto directo de la leptina en las neuronas kisspeptina, ya que el receptor de leptina se expresa en prácticamente todas las neuronas kisspeptina tanto en el ARC como en el APO.

Tejido adiposo como órgano endocrino e indicador del estado metabólico

El tejido adiposo tiene un papel dinámico en la homeostasis energética de todo el organismo al actuar como un órgano endocrino. El papel del tejido adiposo incluye responder a una variedad de señales y, posteriormente, secretar adipocinas que pueden considerarse verdaderos factores endocrinos, entre las cuales se encuentra la leptina. La leptina aumenta la secreción de hormonas gonadotrópicas, que son esenciales para el inicio y mantenimiento de la función reproductiva normal, al actuar centralmente en el hipotálamo para regular la actividad y secreción neuronal de GnRH. Los efectos de la leptina sobre la GnRH están mediados por vías interneuronales que involucran al NPY, la POMC y la kisspeptina. Además, la leptina regula la función reproductiva al alterar la sensibilidad de la glándula pituitaria a la GnRH y actuar en el ovario para regular la esteroidogénesis folicular y lútea. Por lo tanto, la leptina sirve como una señal que vincula el estado metabólico con el eje reproductivo.

En los mamíferos, mientras que las concentraciones basales de FSH y LH son suficientes para la proliferación de las células foliculares, la maduración preovulatoria ocurre bajo la influencia de un aumento en los niveles circulantes de LH. Los niveles de LH y FSH dependen en gran medida de la secreción de GnRH de las neuronas hipotalámicas. Es bien sabido que la kisspeptina estimula las neuronas GnRH que conducen a la liberación de GnRH. Otros dos neuropéptidos, la NKB y DYN, interactúan con la kisspeptina como reguladores hipotalámicos clave de la función reproductiva, y se cree que se secretan junto con la kisspeptina para regular la secreción de GnRH.

Influencia de espesor de la grasa dorsal en la presentación de la pubertad en la cerda

Se ha demostrado que las cerdas primerizas con mayor espesor de grasa dorsal (EGD) alcanzan la pubertad más rápido que aquellas con menor EGD. Se ha observado que algunas hormonas metabólicas están estrechamente relacionadas con la grasa dorsal y el logro de la pubertad. La leptina y el factor I de crecimiento similar a la insulina (IGF-I) han sido reconocidos como reguladores del crecimiento y la diferenciación celular, el inicio de la pubertad y la composición corporal.



La leptina es reconocida como una de las hormonas metabólicas del tejido adiposo, importante en la homeostasis energética y el logro de la pubertad. Los adipocitos son el mayor reservorio de producción de leptina, hormona proteica de 16 kDa. Se ha observado que la concentración sérica de leptina se eleva durante el desarrollo puberal en los cerdos, antes de un aumento en la LH y los estrógenos. También, se ha observado que la leptina funciona como una señal metabólica permisiva para el inicio de la pubertad a través de la secreción de LH. Este fenómeno no sólo ha sido observado en cerdos, sino también en ratones y vaquillas. En consecuencia, la leptina podría ser una señal metabólica del estado nutricional que activa el eje reproductivo. Al respecto, se ha observado que un aumento en la masa de adipocitos es proporcional a un aumento en la concentración sérica de leptina.

Acciones de la leptina en el eje reproductor

El descubrimiento de la leptina ha mejorado la comprensión de la relación entre el tejido adiposo y la homeostasis energética. La leptina producida por los adipocitos, puede actuar como una señal metabólica, lo que permite la activación del eje reproductivo. El hipotálamo parece ser un sitio clave de acción, ya que los receptores de leptina (OBR) se encuentran dentro de áreas hipotalámicas asociadas con el control del apetito, la reproducción y el crecimiento. Las perturbaciones nutricionales retrasan el inicio de la pubertad, interfieren con los ciclos estrales normales y alteran la secreción de LH en el cerdo.

El ARNm del receptor de leptina se ha localizado en los núcleos ventromedial (NVM) y ARC del hipotálamo y la hipófisis anterior del cerdo, la oveja, la rata y el ratón. Por lo tanto, la leptina podría actuar en el sistema nervioso central (SNC) y/o en la hipófisis para regular la secreción de LH. Varios estudios han demostrado los efectos de la administración de leptina en el eje hipotalámico-pituitario. A saber, la administración periférica de leptina aumenta las concentraciones plasmáticas de LH, FSH y testosterona en ratones en ayunas, así como en ratones ob/ob (obesos); disminuye la edad a la maduración sexual en animales alimentados con restricción de alimento y *ad libitum*. Además, las concentraciones séricas de leptina aumentan durante la pubertad en ratones, niños y cerdos. La leptina actúa para reducir la actividad de las neuronas del NPY del núcleo ARC y disminuir la liberación de NPY en el núcleo paraventricular (NPV) y otras regiones del cerebro involucradas en la regulación de la ingesta de alimento, de la secreción de LH y hormona de crecimiento (GH). La información disponible es consistente con la idea de que la leptina es un vínculo importante entre el estado metabólico, el sistema neuroendocrino y la activación del eje reproductivo.

Los niveles séricos de leptina, derivada de los adipocitos, refleja el estado de nutrición y las reservas de energía de los cerdos y sirve como una señal metabólica en la activación del sistema reproductor de los cerdos y otras especies animales. Los animales que son



sometidos a una restricción severa de alimento tienen niveles circulantes reducidos de leptina, lo que está asociado con la secreción marcadamente disminuida de gonadotropinas (LH y FSH).

Se ha sugerido que la leptina tiene un papel importante en el inicio oportuno de la pubertad en varias especies, aunque la evidencia de que la leptina es la señal metabólica primaria para iniciarla en algunas especies es controvertida y no se ha demostrado. Es importante considerar que la secreción y expresión de la leptina depende del depósito de tejido adiposo. Además, la extensión de la inervación simpática y el flujo sanguíneo y/o los vasos sanguíneos también dependen bastante del depósito de grasa. Por lo tanto, es concebible que la cantidad de NPY y otros neuropéptidos en el tejido adiposo refleje el nivel de vascularización sanguínea y de inervación simpática que, a su vez, estaría asociada con niveles variables de expresión y secreción de leptina. Posiblemente, la madurez de un depósito en particular con respecto a la inervación y el flujo sanguíneo puede, en parte, desencadenar el inicio de la pubertad.

Se ha demostrado que las neuronas hipotalámicas que expresan receptores a POMC y NPY co-expresan el receptor a leptina, mientras que no hay evidencia de que las neuronas GnRH expresen este receptor. Ambas observaciones sugieren que la leptina es una señal metabólica hacia el sistema neuroendocrino reproductor y que, bajo condiciones de inadecuadas reservas de energía, los niveles bajos de leptina actúan como señal metabólica que inhibe la actividad del eje neuroendocrino reproductor en ambos sexos. La función reproductiva (desarrollo folicular, gestación y lactación) de las hembras mamíferas es altamente demandante de energía; por lo que, cambios agudos en el estado energético del animal pueden resultar en la modulación del eje hipotálamo-hipófisis-gónada. La supresión de la secreción pulsátil de LH se ha observado después del ayuno o restricción del alimento en muchas especies, incluyendo ratas, ratones, hámsteres, ovejas, monos y humanos. Además, la restricción del alimento puede retrasar el inicio de la pubertad y afectar directamente el desempeño reproductivo. Sin embargo, mientras que el eje hipotálamo-hipófisis-gónada es rápidamente modulado por un balance negativo de energía en el animal, puede no ser ésta la única señal metabólica a la cual el eje reproductor responde.

Está bien establecido que las reservas del tejido adiposo de un animal pueden influir de dos formas en la capacidad de reproducirse: 1) La edad de presentación de la pubertad y, 2) La capacidad de mantener la función reproductora después de cada ciclo reproductivo.



Leptina: señal metabólica relacionada con la presentación de la pubertad

Las señales metabólicas se consideran importantes en el inicio de la pubertad. El descubrimiento de la leptina ha permitido entender la relación entre el tejido adiposo, la homeostasis energética y la pubertad. La leptina puede servir como señal circulante del estado nutricional que activa el eje reproductivo. Sin embargo, varios informes han demostrado que las concentraciones circulantes de leptina permanecen relativamente sin cambios durante el desarrollo puberal en el ratón o la rata hembra; además, la administración de leptina no logró adelantar el inicio de la pubertad en ratones hembra bien nutridos. La información anterior, indica que la leptina no sirve como señal desencadenante, sino que actúa principalmente como una señal permisiva para que ocurra la pubertad.

También, aunque las concentraciones de leptina sérica aumentaron durante la pubertad en las cerdas primerizas, otros factores además de la leptina pueden regular el inicio de la pubertad. Se ha planteado la hipótesis de que el estradiol modula la respuesta hipotálamo-pituitaria a la leptina. Además, el estradiol puede regular los cambios relacionados con la pubertad en la expresión del gen de la leptina. En cerdas primerizas prepuberales ovariectomizadas (OVX), el estrógeno indujo un aumento de la expresión del ARNm de la leptina en el tejido adiposo en el momento esperado de la pubertad, pero no en los animales más jóvenes. Esto se asoció con una mayor secreción de LH y un aumento dependiente de la edad en la expresión del gen del receptor hipotalámico de leptina de forma larga (OB-rb).

Se ha observado que la restricción alimenticia inhibe la secreción de LH y ésta se revierte con el tratamiento con leptina, demostrando una asociación positiva entre la secreción de LH y la leptina. Por lo tanto, la leptina puede actuar como una señal metabólica para la presentación de la pubertad. En otras palabras, a medida que aumentan las concentraciones de leptina circulante durante el desarrollo puberal, se puede alcanzar un umbral que permita la activación del eje reproductivo. En este sentido, la leptina sirve como una señal permisiva para el inicio de la pubertad, a diferencia de una señal desencadenante para el inicio de la pubertad.

Secreción de leptina y estado reproductivo

Los cambios en el peso corporal o el estado nutricional se caracterizan por alteraciones en los niveles séricos de muchas hormonas y factores de crecimiento que regulan la función y el desarrollo de los adipocitos, como la insulina, los glucocorticoides, la GH y el IGF-I. Estudios *in vivo* demostraron que el aumento de la expresión del gen de la leptina siguió a la administración de glucocorticoides o insulina, lo que sugiere que los factores hormonales pueden mediar en los cambios inducidos por la nutrición en la secreción de leptina. Además, un ayuno agudo de 48 h o una restricción alimentaria crónica provoca



una marcada reducción en la secreción de leptina coincidente con una reducción en la liberación de LH en la vaca y la oveja. Por el contrario, un ayuno agudo de 28 h disminuyó la secreción de leptina pero no la secreción de LH en el cerdo, mientras que el tratamiento con un inhibidor competitivo de la glucólisis suprimió la secreción de LH sin afectar las concentraciones séricas de leptina. La capacidad del cerdo para mantener los niveles normales de glucosa durante un ayuno agudo puede explicar el fracaso de la privación aguda de alimento para afectar la secreción de LH; sin embargo, la restricción alimentaria crónica de cerdas primerizas maduras OVX durante 7 días resultó en una reducción simultánea de las concentraciones séricas de leptina y la secreción de LH. Por lo que, aunque la leptina puede servir como una señal metabólica que comunica el estado energético al SNC, la respuesta neuroendocrina a la privación aguda de energía puede ser específica de la especie y/o depender de la masa metabólica.

Los estrógenos estimulan la secreción de leptina en el tejido adiposo de la cerda. En las cerdas primerizas prepúberes OVX, el tratamiento con estrógenos induce la expresión del ARNm de la leptina en el tejido adiposo, lo que ocurre en el momento esperado de presentación de la pubertad en las cerdas primerizas contemporáneas intactas, y se asoció con una mayor secreción de LH.

Efecto central de la leptina sobre el eje hipotálamo-pituitario

La expresión del receptor largo de leptina (OB-rb) en los NVM y ARC del hipotálamo y la glándula pituitaria anterior del cerdo sugiere que la leptina podría actuar en el SNC y/o en la hipófisis para regular la secreción de gonadotropina. Aunque se ha propuesto que la leptina actúa directamente sobre las neuronas GnRH, la evidencia reciente indica que los cuerpos celulares de GnRH no se ven afectados directamente por la leptina. Es más probable que otros neuropéptidos, como el NPY, la POMC, el ácido gama-aminobutírico (GABA) y la kisspeptina modulen la acción de la leptina.

La co-localización del ARNm del receptor de leptina con la expresión del gen NPY es una evidencia convincente de que el NPY hipotalámico es un objetivo potencial para la leptina. Además, el NPY se ha implicado en la regulación de la secreción de GnRH y LH en roedores, primates, ovejas, vacas y cerdos. La administración central de NPY estimula el apetito en la oveja y el cerdo y esto se revierte con la inyección ICV de leptina en el cerdo.

Debido a la acción directa de la kisspeptina sobre las neuronas GnRH, se ha convertido en un factor clave en la mediación del efecto de la leptina en la secreción de LH. La restricción calórica y el ayuno reducen la expresión hipotalámica del ARNm de kisspeptina en muchas especies, incluidos roedores, ovejas y primates no humanos, y su expresión también se suprime durante la lactancia. La secreción normal de LH en cada una de estas condiciones se restablece mediante el tratamiento con kisspeptina, que



también rescata la secreción de LH en ratones ob/ob con deficiencia de leptina. El efecto de la leptina sobre la secreción de gonadotropina podría, por lo tanto, estar mediado a través de las neuronas kisspeptina indirectamente a través de su acción en los cuerpos celulares de NPY y/o POMC (Figura 1).

Como en el caso de los esteroides gonadales, la leptina parece actuar sobre una subpoblación de neuronas kisspeptina dentro del hipotálamo para controlar la liberación de gonadotropina. Al respecto se ha observado, que la leptina estimula la activación de las neuronas de kisspeptina en cortes hipotalámicos del núcleo ARC de cobayos. El efecto de la leptina sobre las células kisspeptina en el núcleo ARC es probablemente directo porque las células kisspeptina en el ARC de cobayos y ratones expresan el ARNm del receptor de leptina. Además, el tratamiento de líneas celulares hipotalámicas murinas y humanas con leptina aumenta la expresión de ARNm de kisspeptina, y el tratamiento de ratones ob/ob o Kiss1-Cre con leptina aumentó el ARNm de kisspeptina en células en el ARC pero no en el área periventricular anteroventral (AVPV). Los cuerpos celulares de kisspeptina en el ARC contienen segundos mensajeros activados por leptina, mientras que las células de kisspeptina en el AVPV no. Al respecto, se ha observado que la reducción de la secreción de LH coincide con la disminución de ARNm de kisspeptina en el ARC y en la región dorsolateral del APO en ovejas magras ovariectomizadas en comparación con ovejas que tenían mayor cantidad de grasa corporal. La administración de leptina durante 72 h, en el tercer ventrículo de estas ovejas magras, restauró los pulsos de LH; sin embargo, la expresión hipotalámica del ARNm de kisspeptina solo se rescató parcialmente. De manera similar, la leptina no revirtió completamente la reducción inducida por la lactancia en la expresión del ARNm de kisspeptina en ratas. Esto refuerza la expectativa de que el sistema kisspeptina y, en consecuencia, la función reproductiva, pueden ser controlados por otros factores metabólicos más allá de la leptina sola.

Leptina y función ovárica

Se han identificado receptores de leptina en las células de la granulosa y la teca de los folículos ováricos porcinos. Se ha demostrado que dosis fisiológicas de leptina estimulan la esteroidogénesis en las células de la granulosa porcina *in vitro*, en presencia o ausencia de IGF-I. Por lo tanto, las concentraciones circulantes de leptina pueden influir en la reproducción al modular directamente el desarrollo o la función folicular.

La exposición de las células somáticas del folículo preovulatorio porcino a la leptina aumenta la capacidad esteroidogénica de las células lúteas, lo que sugiere un papel de la leptina en el desarrollo del cuerpo lúteo. En apoyo de esta hipótesis, se ha observado que el aumento de la producción de progesterona a partir de las células de la granulosa porcina, tratadas con leptina, se asoció con una mayor expresión de la proteína reguladora aguda esteroidogénica (STAR); sugiriendo, que éste puede ser un evento

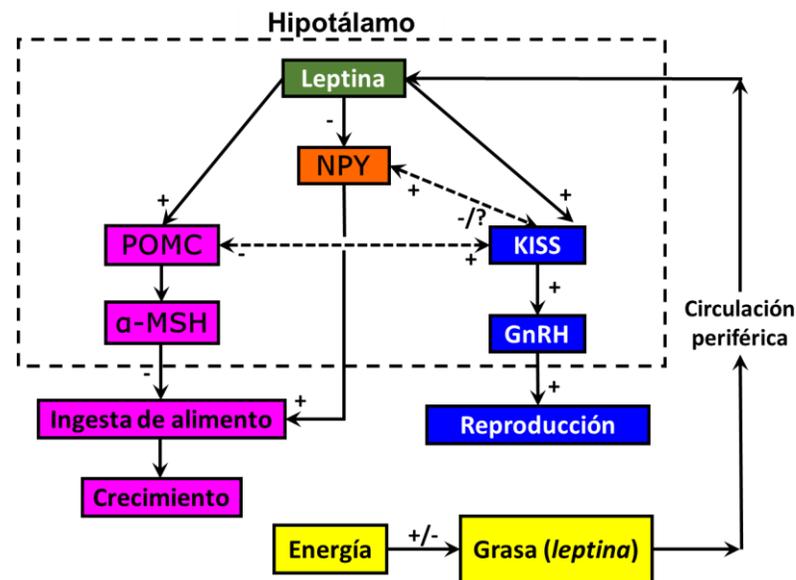


Figura 1. La leptina se sintetiza en los tejidos adiposos y se secreta a la circulación periférica. Actúa centralmente en el hipotálamo para suprimir la actividad de las neuronas NPY (neuropéptido-Y), lo que reduce el impulso estimulador en la ingesta de alimentos y disminuye la inhibición de NPY de los cuerpos celulares de kisspeptina. Actuando directamente sobre las neuronas POMC (proopiomelanocortina), la leptina estimula la liberación de α -MSH (hormona estimulante de melanocitos) que funciona para suprimir la ingesta de alimentos y alterar el crecimiento. La activación de las células POMC estimula las neuronas de kisspeptina, que tienen axones que terminan cerca de los cuerpos celulares que expresan NPY y POMC, donde la kisspeptina estimula e inhibe a cada uno, respectivamente. La leptina también puede actuar directamente sobre subpoblaciones de neuronas kisspeptina para aumentar aún más el impulso estimulante de la liberación de GnRH (hormona liberadora de gonadotropina) y la secreción de gonadotropina de la glándula pituitaria. La leptina puede mejorar aún más la secreción de LH (hormona luteinizante) y apoyar la reproducción al actuar para aumentar la sensibilidad de las células gonadotrópicas en la glándula pituitaria a la GnRH. Una fluctuación en el balance energético cambia la secreción de leptina y altera estas vías. Las líneas continuas representan vías establecidas. Las flechas discontinuas representan mecanismos propuestos recientemente (Fuente: Hausman *et al.*, 2012).

regulador clave en la acción de la leptina sobre la esteroidogénesis. Además, la expresión del receptor de leptina aumentó durante la luteinización *in vitro* y fue mayor en el tejido lúteo recolectado durante la mitad de la fase lútea de la cerda; lo que indica, que la leptina desempeña un papel tanto en el desarrollo folicular como en la función luteínica posterior.

Función de la kisspeptina en la secreción de GnRH

La kisspeptina es el péptido codificado por el gen KISS1, y el receptor de kisspeptina es un receptor acoplado a proteína G (GPR54); este péptido se ha observado en la mayoría de las especies de mamíferos en diferentes tejidos del cuerpo. Se ha demostrado que la kisspeptina provoca la liberación de LH a través de infusión ICV, intramuscular e intravenosa en varias especies de mamíferos. La kisspeptina surgió como un regulador clave de la función reproductiva en los cerdos cuando se descubrió que los verracos en los que se eliminó un receptor funcional de la kisspeptina presentaban una condición de hipogonadismo hipogonadotrópico. Los verracos se caracterizaron por una falta de



desarrollo gonadal y bajos niveles de secreción de gonadotropina de la glándula pituitaria anterior, que no lograron la transición a la pubertad.

La kisspeptina tiene una potente acción estimulante sobre la secreción de hormonas gonadotrópicas en las cerdas primerizas. La evidencia acumulada ha demostrado que el tratamiento central y periférico con kisspeptina estimula la secreción de gonadotropinas, particularmente la secreción de LH, en varias especies de mamíferos, incluidos roedores, ovejas, cabras, ganado y caballos. En el SNC de los cerdos, las células de kisspeptina se localizan principalmente en dos regiones discretas involucradas en la regulación de la secreción de gonadotropinas, incluida la región de hipotálamo basal medial (MBH) dentro del ARC y el núcleo periventricular (PeV). Dentro del ARC del cerdo, se observa un patrón espacialmente distinto del gen *KISS1*, con la mayor expresión en las secciones mediocaudales, similar a la distribución de la kisspeptina del ARC observada en ovejas y ganado. En estudios de inmunocitoquímica se ha observado que los cuerpos de las células neuronales, así como las fibras nerviosas para la kisspeptina, son evidentes en el ARC porcino. Por lo tanto, parece ser que la distribución neuroanatómica de las neuronas kisspeptina en el ARC porcino es como la de otras especies. Específicamente, las neuronas de kisspeptina en el APO regulan los cuerpos celulares de GnRH, mientras que las neuronas de kisspeptina en el ARC actúan sobre los axones terminales de GnRH en la eminencia media.

El estradiol tiene un efecto bifásico en cerdos, inhibiendo los pulsos basales de LH a través de una retroalimentación negativa y luego estimulando un aumento ovulatorio de LH a través de una retroalimentación positiva. Al respecto, se ha observado que cuando a cerdas primerizas sexualmente maduras, ovariectomizadas (OVX), se les administró una dosis de estradiol suficiente para estimular un aumento ovulatorio de LH, la expresión de kisspeptina aumentó en el núcleo PeV del hipotálamo en comparación con las cerdas primerizas OVX a las que no se le administró estradiol. Estos hallazgos indican que poblaciones separadas de neuronas kisspeptina en el ARC y el núcleo PeV de las cerdas primerizas modulan la retroalimentación negativa y positiva de los estrógenos, respectivamente, para el control de la secreción tónica y del aumento preovulatorio de LH.

Además, el inicio de la pubertad en cerdas primerizas y los ciclos reproductivos posparto están controlados metabólicamente. Al respecto, se sabe que el balance de energía negativo a corto plazo (10 días) induce una frecuencia menor y una mayor amplitud de los pulsos de LH, aunque no se observan diferencias en la transcripción de kisspeptina en el ARC entre cerdas primerizas con alimentación restringida y alimentación completa; sin embargo, cuando la restricción alimenticia en las cerdas primerizas cíclicas es por un período prolongado (100 días) baja la expresión de ARNm para kisspeptina, del receptor



de kisspeptina y de la GnRH en la MBH; por el contrario, la expresión de kisspeptina y el ARNm para su receptor aumentan en el tejido hipotalámico que contiene el APO caudal y el núcleo PeV de los cerdos alimentados con una dieta más energética. Esto implica, que los cambios inducidos por la nutrición en los patrones de pulsos de LH de los cerdos pueden depender de las subpoblaciones hipotalámicas de neuronas kisspeptina que responden de manera diferente a las señales nutricionales al mediar el generador de pulsos de GnRH (Figura 2).

Localización de las neuronas kisspeptina en el cerdo

La principal población de neuronas kisspeptina en el cerdo se encuentra en el ARC del hipotálamo, especialmente en la región más caudal del núcleo, extendiéndose alrededor del núcleo premamilar; la segunda población más grande se encuentra en la región rostral del núcleo PeV del hipotálamo del cerdo, en lugar del APO. Casi todas las neuronas de kisspeptina en el núcleo ARC coexpresan neuroquinina B y dinorfina, a las que se les ha denominado neuronas KNDy (kisspeptina/neuroquinina B/dinorfina), basándose en esta colocalización. Las neuronas KNDy sólo se han observado en las neuronas del ARC y no en otras neuronas kisspeptina, formando una red interactiva; las diversas funciones de la kisspeptina, neuroquinina B y dinorfina parecen ser críticas para su función.

Las neuronas KNDy expresan los receptores NK3 (receptor para neuroquinina B) y kappa receptores opioides. Por el contrario, las neuronas kisspeptina no expresan el receptor kisspeptina (kiss1R); indicando, que la comunicación entre las neuronas KNDy se realiza a través de la neuroquinina B y la dinorfina, pero no a través de la kisspeptina. Esta conexión parece ser funcional, porque la infusión central de neuroquinina B en ovejas en anestro activó las neuronas kisspeptina, con un aumento sustancial en el porcentaje de neuronas kisspeptina que expresan la proteína Fos, un marcador de activación neuronal. Finalmente, estas neuronas KNDy también liberan glutamato, como lo demuestra la presencia de la proteína transportadora de glutamato vesicular (vGlut2), en las terminales de las neuronas KNDy.

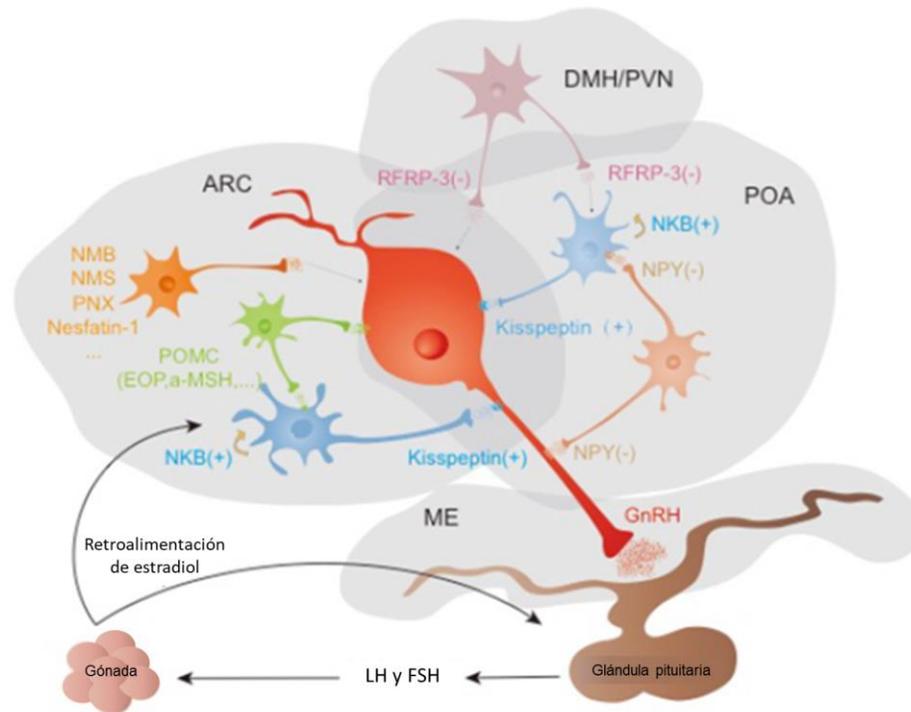


Figura 2. Ilustración esquemática de las vías neuroendocrinas reproductivas en cerdos. La reproducción de los cerdos está operada por el eje HPG, en el que las neuronas GnRH actúan como factor intermedio entre el hipotálamo y la hipófisis. Las neuronas de GnRH directa o indirectamente reciben entradas reguladoras de una amplia gama de señales y vías reguladoras, que involucran numerosos neuropéptidos y neurotransmisores. Las neuronas de kisspeptina con neuroquinina B en el POA regulan los cuerpos celulares de GnRH y en el ARC actúan sobre los axones terminales de GnRH en la eminencia medial, estimulando la secreción de GnRH. Las células NPY y POMC funcionan como sensores metabólicos para la activación de la secreción de GnRH, actuando como señales inhibitorias y excitatorias, respectivamente. (Tomado de Zhao *et al.*, 2021).

El ARC contiene abundantes fibras de kisspeptina, especialmente alrededor del soma kisspeptina. Las fibras de kisspeptina se encuentran en toda la región septo-preóptica, que es la región que contiene la mayoría de las neuronas GnRH. Otras poblaciones de fibras más grandes incluyen una población que corre adyacente y paralela al tercer ventrículo. Todas las fibras de kisspeptina que se encuentran en la EM parecen ser de origen KNDy, lo que indica que se originan en el núcleo ARC y no en otras regiones hipotalámicas. De manera similar, la mayoría de las entradas de kisspeptina a las neuronas preópticas de kisspeptina también provienen de las neuronas KNDy.



Regulación de las neuronas kisspeptina Neuromoduladores de kisspeptina

La mayor parte de lo que se sabe se ha derivado de estudios en ovejas. A partir de estudios inmunohistoquímicos, hay evidencia de entrada sináptica a las neuronas kisspeptina de neuronas que producen glutamato, dopamina, NPY, POMC, MSH, GnRH, dinorfina, neuroquinina B y kisspeptina. Estos tres últimos forman la red de interconexión de neuronas KNDy mencionada anteriormente. Los estudios de rastreo de vías no muestran proyecciones desde el APO rostral al núcleo ARC, indicando que no hay entradas a las neuronas KNDy de la población preóptica de neuronas kisspeptina, sugiriendo que prácticamente toda la entrada de kisspeptina a las neuronas KNDy es de origen KNDy. Existe evidencia de que la red de neuronas KNDy contribuye a la generación de pulsos de GnRH e incluso podría ser el generador de pulsos de GnRH. Al respecto, se ha propuesto que la actividad sincrónica de las neuronas KNDy implica la actividad coordinada de la neuroquinina B y la dinorfina, siendo kisspeptina la señal de salida a las neuronas GnRH. Donde, la señal para estimular un pulso de GnRH es iniciada por la actividad de la neuroquinina B dentro de la red de neuronas KNDy, mientras que la dinorfina actúa para detener la liberación de kisspeptina de las neuronas KNDy, deteniendo los pulsos de GnRH. Las neuronas KNDy expresan tanto el receptor de neuroquinina B (NK3R) como el receptor de dinorfina.

Regulación de kisspeptina por los estrógenos

Las neuronas kisspeptina están reguladas por esteroides sexuales. Las dosis de estrógeno que normalmente ejercen una acción de retroalimentación negativa sobre la secreción de GnRH inhiben a las neuronas de kisspeptina en el núcleo ARC. Además, en los cerdos se observó una reducción en el número de células inmunoreactivas a kisspeptina (kisspeptina-ir) en el tejido cerebral del núcleo ARC, recolectado 48 h después de una dosis alta de estrógeno (alrededor del momento del inicio de un pico de LH inducido por estrógeno), así como un aumento en la cantidad de células inmunoreactivas a kisspeptina en el núcleo PeV, indicando que es en esta región hipotalámica en donde los estrógenos ejercen su acción de retroalimentación positiva para la elevación preovulatoria de LH en la cerda. Tanto las neuronas kisspeptina de ARC como del núcleo PeV expresan receptores de estrógenos, por lo que, los esteroides sexuales pueden actuar directamente sobre las neuronas kisspeptina.

Función reguladora de la kisspeptina del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal

La GnRH es una hormona decapeptídica esencial para la reproducción a través de sus acciones sobre la síntesis y liberación de gonadotropinas. Las concentraciones circulantes de gonadotropinas fluctúan a lo largo del ciclo estral y estimulan el desarrollo folicular ovárico, mientras que la LH, en particular, es luteotrópica en muchas especies y es responsable de provocar la ovulación.



Está ampliamente aceptado que la progesterona y el 17β -estradiol controlan la liberación de gonadotropinas mediante retroalimentación positiva y negativa; sin embargo, los mecanismos exactos por los que esto ocurre no están claros. Se esperaría que las neuronas GnRH porten receptores de estrógeno, sin embargo, la información disponible sigue siendo equívoca en cuanto a la presencia de receptores de estrógeno en las neuronas GnRH. Por lo tanto, la liberación de GnRH puede estar controlada por otras hormonas, una de las cuales es la kisspeptina. La kisspeptina puede provocar la liberación directa de GnRH debido a que los axones neuronales de la kisspeptina están asociados con las dendritas de las neuronas GnRH. Además, el receptor de kisspeptina (GPR54) está presente en las neuronas GnRH y es estimulado directamente por la kisspeptina para provocar la liberación de GnRH.

Estudios en ratas han demostrado que la elevación en las concentraciones circulantes de estrógenos causa un aumento en la expresión del gen KISS1 en el núcleo AVPV, pero disminuye su expresión en el núcleo ARC. La expresión del gen KISS1 en el AVPV alcanza su punto máximo en un momento coincidente con el pico preovulatorio de LH y las neuronas KISS1 expresan la inducción de c-Fos en un momento coincidente. Por el contrario, los ratones con deleciones en el receptor kisspeptina parecen carecer de la capacidad de exhibir un aumento de LH en comparación con ratas que fueron ovariectomizadas y luego tratados con estrógeno y progesterona. Por lo tanto, es plausible que un aumento en la expresión del gen KISS1 hipotalámico pueda contribuir al aumento preovulatorio de GnRH/LH en el cerdo.

Los estudios realizados indican que existe relación entre las concentraciones circulantes de esteroides sexuales y las concentraciones hipotalámicas de kisspeptina y la expresión del gen KISS1. La elevación de la expresión del gen KISS1 en el MBH coincide con mayores concentraciones séricas de estrógenos y mayores concentraciones de LH en la hipófisis anterior. En estudios realizados para medir la expresión génica y la concentración de proteínas del gen KISS1 y GnRH en múltiples áreas del hipotálamo en ratas OVX tratadas con estrógenos, se observó que durante el inicio de la pubertad las células inmunorreactivas a kisspeptina aumentaron en el ARC, el núcleo PeV y el APO. Además, los niveles de expresión génica de KISS1 y GnRH hipotalámicos fueron mayores en OVX + estrógenos y/o intactos + estrógenos en comparación con OVX y animales intactos que no fueron tratados con estrógenos. También se ha observado que la expresión hipotalámica del ARNm de KISS1 disminuyó durante el estro en comparación con otras etapas del ciclo estral en la rata. Estos datos respaldan la idea de que un aumento en el ARNm de KISS1 hipotalámico y la concentración de kisspeptina hipotalámica modulan la actividad del estrógeno durante el tiempo que un animal expresa el estro; además, se ha observado que durante la expresión del estro, cuando las concentraciones séricas de estrógenos son mayores se da una disminución en la



expresión hipotalámica de KISS1 en comparación con el último día del ciclo estral cuando las concentraciones séricas de estrógenos fueron menores.

Conclusiones

La reproducción en los cerdos está controlada por el eje neuroendocrino HHG. Las neuronas que producen la GnRH sirven como vía central común final para este eje. La GnRH actúa sobre los gonadotropos hipofisarios para impulsar la síntesis y secreción de la LH y FSH. Estas gonadotropinas promueven la gametogénesis y la síntesis de esteroides sexuales. Los esteroides brindan información de retroalimentación al hipotálamo y la hipófisis sobre el estado de las gónadas; esta retroalimentación regula la secreción de GnRH y la respuesta a la GnRH, respectivamente.

Las señales metabólicas se consideran importantes en el inicio de la pubertad y el mantenimiento de la actividad reproductiva de la cerda. Una de estas señales es la leptina; hormona derivada del tejido adiposo, que se ha identificado como uno de los factores críticos que transmite información sobre la disponibilidad de energía periférica al eje HHG. El impacto modulador de la leptina en la red neuronal de GnRH no solo sirve para transmitir información sobre la adiposidad y la disponibilidad de energía, sino que también parece actuar como una señal integradora clave que comunica un mensaje general sobre si las condiciones actuales son favorables para la reproducción.

También los estrógenos funcionan como una señal metabólica que modulan el funcionamiento del eje HHG, ya que la retroalimentación de los esteroides gonadales regula la secreción hipotalámica de la GnRH. La retroalimentación negativa modula la amplitud y frecuencia de los pulsos de GnRH. La retroalimentación positiva ocurre cuando la concentración plasmática alta de estradiol induce un pico en la liberación de la GnRH. En la cerda, estas dos formas de retroalimentación y sus patrones correspondientes de secreción de GnRH están mediados por neuronas que expresan kisspeptina en dos áreas hipotalámicas: el ARC y el núcleo PeV. Las neuronas kisspeptina del ARC regulan la retroalimentación negativa de estradiol y la generación de pulsos de GnRH, mientras que las neuronas kisspeptina del núcleo PeV regulan la retroalimentación positiva y la generación del pico de GnRH. Las neuronas de kisspeptina del ARC se denominan neuronas KNDy debido a su co-expresión de kisspeptina, neuroquinina B y dinorfina, que no se expresa en la población de neuronas kisspeptina del núcleo PeV. La neuroquinina B y la dinorfina regulan los pulsos de LH y pueden ser fundamentales para la generación de pulsos de GnRH. La neuroquinina B tiene un efecto estimulante y la dinorfina un efecto inhibitorio sobre la frecuencia del pulso de LH. La liberación local de estas señales en el ARC, donde estimulan directamente (neuroquinina B) o inhiben (dinorfina) la actividad de disparo, son elementos centrales de la generación de pulsos de GnRH. Los cambios en la frecuencia del pulso generador de GnRH impulsados por los esteroides son



especialmente importantes en la cerda para alterar la proporción de LH: FSH en la circulación para facilitar las diferentes fases del desarrollo folicular ovárico.

Referencias

- Clapper, J., Jolitz, E., Dhillon, W. (2021). Evaluation of the Hypothalamic Kisspeptin System Throughout the estrous cycle in gilts. *Research Square*, 1-21 doi.org/10.21203/rs.3.rs-700168/v1
- Clarkson, J., D'Anglemont de Tassigny, X., Moreno, A.S., Colledge, W.H., Herbison, A. E. (2008). Kisspeptin-GPR54 signaling is essential for preovulatory gonadotropin-releasing hormone neuron activation and the luteinizing hormone surge. *The Journal of Neuroscience*, 28, 8691-8697. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1775-08.2008
- De, W., Ai-rong, Z., Yan, L., Sheng-yu, X., Hai-yan, G., Yong Z. (2009). Effect of feeding allowance level on embryonic survival, IGF-1, insulin, GH, leptin and progesterone secretion in early pregnancy gilts. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl)*, 93(5), 577-85. doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00844.x
- Evans, M. C., Campbell, R. E., Anderson, G. M. (2022). Physiological regulation of leptin as an integrative signal of reproductive readiness. *Current Opinion in Pharmacology*, 67, 1-7. doi.org/10.1016/j.coph.2022.102321
- Franceschini, I., Lomet, D., Cateau, M., Delsol, G., Tillet, Y., Caraty, A. (2006). Kisspeptin immunoreactive cells of the ovine preoptic area and arcuate nucleus co-express estrogen receptor alpha. *Neuroscience Letters*, 401: 225–230. doi.org/10.1016/j.neulet.2006.03.039
- Goodman, R. L., Maltby, M. J., Millar, R. P., Hileman, S. M., Nestor, C. C., Whited, B., Tseng, A. S., Coolen, L. M., Lehman, M. N. (2012). Evidence that dopamine acts via kisspeptin to hold GnRH pulse frequency in check in anestrus ewes. *Endocrinology*, 153, 5918–5927. doi.org/10.1210/en.2012-1611
- Hausman, G. J., Barb, C. R., Lents, C. A. (2012). Leptin and reproductive function. *Biochimie*, 94:2075-2081. doi.org/10.1016/j.biochi.2012.02.022
- Ieda, N., Uenoyama, Y., Tajima, Y., Nakata, T., Kano, M., Naniwa, Y., Watanabe, Y., Minabe, S., Tomikawa, J., Inoue, N., Matsuda, F., Ohkura, S., Maeda, K., Tsukamura, H. (2014). KISS1 Gene Expression in the Developing Brain of Female



- Pigs in Pre- and Peripubertal Periods. *The Journal of Reproduction and Development*, 60(4), 312-6. doi.org/10.1262/jrd.2013-129
- Kuehn, L. A., Nonneman, D. J., Klindt, J. M., Wise, T. H. (2009). Genetic relationships of body composition, serum leptin, and age at puberty in gilts. *Journal of Animal Science*, 87, 477–483. doi.org/10.2527/jas.2008-0936
- Lents, C. A., Heidorn, N. L., Barb, C. R., Ford, J. J. (2008). Central and peripheral administration of kisspeptin activates gonadotropin but not somatotropin secretion in prepubertal gilts. *Reproduction*, 135, 879–887. doi.org/10.1530/REP-07-0502
- Lents, C. A. (2019). Review: kisspeptin and reproduction in the pig. *Animal*, 13(12), 2986–2999. doi.org/10.1017/S1751731119001666
- Li, S., Ren, J., Yang, G., Guo, Y., Huang, L. (2008). Characterization of the porcine Kisspeptins receptor gene and evaluation as candidate for timing of puberty in sows. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 125, 219-227. doi.org/10.1111/j.1439-0388.2008.00732.x
- Merkley, C. M., Coolen, L. M., Goodman, R. L., Lehman, M. N. (2015). Evidence for changes in numbers of synaptic inputs onto KNDy and GnRH neurones during the preovulatory LH surge in the ewe. *Journal of Neuroendocrinology*, 27, 624–635. doi.org/10.1111/jne.12293
- Ralph, C. R., Kirkwood, R. N., Tilbrook, A. J. (2017). A single intravenous injection of kisspeptin evokes an increase in luteinising hormone in 15- and 18-week old gilts. *Animal Production Science*, 57, 2469. doi.org/10.1071/ANv57n12Ab067
- Robert, C., Palin, M. F., Coulombe, N., Roberge, C., Silversides, F. G., Benkel, B. F., McKay, R. M., Pelletier, G. (1998). Backfat thickness in pigs is positively associated with leptin mRNA levels. *Canadian Journal of Animal Science*, 78, 473-482. doi.org/10.4141/A98-072
- Scott, C. J., Rose, J. L., Gunn, A. J., McGrath, B. M. (2019). Kisspeptin and the regulation of the reproductive axis in domestic animals. *Journal of Endocrinology*, 240, R1–R16. doi.org/10.1530/JOE-18-0485
- Starrett, J. R., Moenter, S. M. (2023). Hypothalamic kisspeptin neurons as potential mediators of estradiol negative and positive feedback. *Peptides*, 163, 1-10. doi.org/10.1016/j.peptides.2023.170963



- Thorson, J. F., Prezotto, L. D., Adams, H., Petersen, S. L., Clapper, J. A., Wright, E. C., Oliver, W. T., Freking, B. A., Foote, A. P., Berry, E. D., Nonneman, D. J., Lents, C. A. (2018). Energy balance affects pulsatile secretion of luteinizing hormone from the adenohypophysis and expression of neurokinin B in the hypothalamus of ovariectomized gilts. *Biology of Reproduction*, 99(2), 433-445. doi.org/10.1093/biolre/iy069
- Tomikawa, J., Homma, T., Tajima, S., Shibata, T., Inamoto, Y., Takase, K., Inoue, N., Ohkura, S., Uenoyama, Y., Maeda, K., Tsukamura, H. (2010). Molecular characterization and estrogen regulation of hypothalamic KISS1 gene in the pig. *Biology of Reproduction*, 82(2), 313-319. doi.org/10.1095/biolreprod.109.079863
- Zhou, D., Zhuo, Y., Che, L., Lin, Y., Fang, Z., Wu, D. (2014). Nutrient restriction induces failure of reproductive function and molecular changes in hypothalamus–pituitary–gonadal axis in postpubertal gilts. *Molecular Biology Reports*, 41(7), 4733-42. doi.org/10.1007/s11033-014-3344-x



Trazabilidad y calidad de la carne de res, su importancia en la salud pública

Paulina Alejandra Ávila Baylon¹, Ana Isabel Mireles Arriaga², Griselda Maki Díaz³, Carlos Häubi Segura⁴, Theodor Duifhuis Rivera⁵, José Antonio Hernández Marín^{6*}

¹Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. ²Departamento de Agronomía, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. ³Departamento de Arte y Empresa, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. ⁴Departamento de Ciencias Veterinarias, Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes. ⁵Departamento en Producción Animal, División de Ciencias Veterinarias, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. ⁶Departamento de Veterinaria y Zootecnia, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. pa.avilabaylon@ugto.mx, ana.mireles@ugto.mx, g.maki@ugto.mx, drhaubi@yahoo.com, theodor.duifhuis@academicos.udg.mx, jahmarin@ugto.mx*

Introducción

En los últimos años, diversos investigadores se han interesado en comprender cómo los consumidores perciben la calidad de la carne de res, abordando tanto aspectos generales relacionados con el producto en sí, como aspectos específicos como la seguridad alimentaria, la sostenibilidad, el sabor y la marca, así como las preferencias en cuanto a su contenido nutricional. Este esfuerzo está motivado por la necesidad de proporcionar a la industria de la producción de la carne de res, la información que le permita ofrecer un producto cárnico con mayores posibilidades de ser aceptado, con la finalidad de hacer frente a la disminución *per cápita* en el consumo de carne. Además, algunos expertos han señalado que los consumidores de este producto pueden utilizar más de dos características de la carne para formar su concepto de calidad; entre las cuales destacan aspectos intrínsecos como el color y el nivel de grasa, que resaltan gran importancia. Por otro lado, se ha observado que, en el caso de los consumidores estadounidenses, el precio es un factor determinante en la elección de productos cárnicos; sin embargo, cuando no se considera el precio, los consumidores valoran principalmente la experiencia del consumo y la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) de la carne como los atributos más significativos.

México, al formar parte de un mercado globalizado, no está exento de influencias de nuevas tendencias a nivel internacional, las preferencias cambiantes de los consumidores y las opciones emergentes en la producción, como la trazabilidad, que proporciona garantías de calidad y transmite información relevante a los compradores. En 2003, el gobierno mexicano lanzó el Sistema Nacional de Identificación Individual de Ganado (SINIIGA), que implica la colocación de aretes para lograr una identificación única y permanente de cada animal a lo largo de toda su vida productiva. Cualquier sistema de trazabilidad para la carne comienza con la identificación de los animales y se



extiende al etiquetado del producto en etapas posteriores; sin embargo, la trazabilidad puede perderse en el proceso de sacrificio o ser vulnerable a manipulaciones para su comercialización. En Sonora, el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Avanzada (CIDIA) desarrolló un software conocido como Sistema de Trazabilidad y Administración Ganadera (SITAGAN), mientras que en Chihuahua se creó otro programa para la identificación del ganado. En marzo de 2022, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) de México, mediante el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), presentó el Sistema de Trazabilidad de Mercancías Agropecuarias (SITMA), una plataforma tecnológica que permitirá rastrear al ganado bovino desde su nacimiento hasta llegar al plato del consumidor; incluirá detalles sobre el origen del animal, los alimentos y medicamentos que ha recibido, así como su desplazamiento, ubicación de engorde, proceso de sacrificio y transformación.

Por otro lado, las restricciones que surgieron durante la pandemia por COVID-19 desde la comercialización de rumiantes hasta la compra de insumos para la producción, llevaron a una disminución en la capacidad de proceso de productos de origen animal, así como pérdidas en ventas y desaceleración de la actividad del mercado. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, mencionó que la emergencia sanitaria obligó a crear nuevas formas de producción del sector pecuario para funcionar mejor; el desafío es identificar el punto intermedio, generar y promover la colaboración entre eslabones de la cadena productiva, considerar el rol del consumidor, centrar nuevas formas de cooperación y crear nuevos esquemas de alianza hasta el consumidor. Dichos esquemas abarcan sistemas que aseguren al consumidor que el producto a elegir es de calidad inminente; a estos sistemas se les conoce como trazabilidad, en donde se centra la capacidad de rastrear los insumos utilizados para la producción de alimentos desde su origen, en los diferentes niveles de la cadena productiva hasta el consumidor; con ello se manifiesta la necesidad de ofrecer productos con mayores garantías de calidad y seguridad alimentaria para el consumidor final.

Simultáneamente nace la relación de control de calidad con trazabilidad debido a la incapacidad que tienen algunos consumidores para evaluar las propiedades intrínsecas del producto cárnico, con posibilidad de fortalecer el fraude en la comercialización de productos pecuarios. El reto de conseguir garantías de calidad y seguridad alimentaria en la carne se debe señalar desde el punto de vista de la trazabilidad, dado a que ante cualquier evento o problema sanitario la empresa podrá rastrear la cadena alimentaria e identificar la ruta que ha seguido el producto, materia prima o ingrediente para detener el avance de la pérdida de seguridad alimentaria pública, por otro lado es necesario que existan organismos o sistemas encargados de verificar la información que brindan los organismos independientes; es decir debe de existir un marco jurídico y legal que controle y acredite que el producto es auténtico y que contiene un sistema de calidad y seguridad



alimentaria apto para consumo. Por lo tanto, es fundamental saber la percepción que tienen los consumidores en materia de etiquetado y trazabilidad de productos pecuarios. Por lo anterior, el objetivo es describir la importancia de la trazabilidad y la calidad de la carne de res en la salud pública.

Panorama actual de consumo de la carne de res en el mundo, México y Guanajuato

México ocupa la sexta posición a nivel mundial en el consumo de carne de res, con un promedio de consumo de 76 kilogramos de carne res por persona al año. Estados Unidos registra el mayor consumo de carne de res en el mundo con un total de 119 kg *per cápita*.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, mencionó que el consumo *per cápita* de carne de bovino fue de 69.5 kg en 2022. Para México, se prevé un crecimiento débil en la demanda de carne de vacuno, debido a las preferencias de los consumidores por la carne de ave; además en promedio un mexicano consume 1.27 kilos de carne de res al mes, completando más de 15 kilos anuales de esta proteína. La tendencia para el 2023 es que el consumo de carne en México seguirá en aumento, y superará a Reino Unido en consumo per cápita, colocándose en la quinta posición a nivel mundial. De acuerdo con el Consejo Mexicano de la Carne A. C. (COMECARNE), en México el consumo de carne de res *per cápita* para 2020 fue de 15.2 kg, donde Nuevo León fue la entidad federativa que ocupó el mayor consumo *per cápita* de carne de res entre 30 a 35 kg.

De acuerdo con el Diagnóstico Agrológico del Estado, en Guanajuato se espera que el incremento de producción de carne de res paralelamente incremente el consumo al menos 1.3 % para 2025, esperando obtener una percepción de estado, como generador de productos pecuarios con inocuidad y calidad, y con ello, aumentar la confianza del consumidor para que incremente la compra de productos locales, esperando ingresar a mercados nacionales e internacionales.

La tendencia hacia un consumo responsable de la carne de res contempla la disposición del consumidor para desplegar comportamientos en función de su escala de valores que impliquen temas sociales, ambientales y de alimentación saludable. En los últimos años, los problemas sanitarios han incidido notablemente en la comercialización internacional de la cadena de la carne; los estándares internacionales han generado una diferenciación de productos y mercados y el surgimiento de nichos especializados.



Impacto de la tendencia del consumidor de la carne de res en la cadena productiva

Durante el 2020, en México, la población dedicada a las actividades agrícolas y ganaderas era alrededor de 3.77 millones de personas y en el 2021 registraron una fuerza laboral de 3.58 millones, con ello se observó un descenso del 5.04% de personas dedicadas a este sector. Actualmente, se reconocen seis eslabones de la cadena de carne bovina: productores primarios, comercializadores de ganado en pie, plantas de beneficio y desposte, industria de embutidos, distribuidores de carne y consumidores.

Las preferencias de consumo en diversos países de Latinoamérica no se diferencian de las preferencias de consumo en México, donde la carne en canal sin ningún tipo de tecnificación se comercializa en el sector popular, mercados y carnicerías populares. La producción tecnificada y semitecnificada se comercializa en supermercados, cierto tipo de carnicerías y puntos de venta especializados, incluyendo a la industria procesadora de embutidos. Se considera, que no existe un mercado nacional de carne, sino que existen mercados regionales con características propias de acuerdo a las exigencias del consumidor.

El consumidor elige su lugar de compra, frecuencia, y productos según cada estrato social. Los estratos altos tienen preferencia por los supermercados, el estrato medio utiliza más la carnicería; las razones de elección mencionados en diversos estudios tienen que ver con la cercanía, la percepción de calidad y los precios.

Existe una aparente disponibilidad a pagar un poco más por un producto con garantía de calidad, en un nivel económico medianamente alto donde mencionan razones de elección por calidad del producto, precio y cambio de residencia. En los niveles medios a bajo el concepto de carne madurada no tiene una percepción positiva, la gente confía en un producto sin empaques especiales que mantengan el color natural de la carne.

En México y en algunos países latinoamericanos, la mayoría de los consumidores no tienen un alto criterio de selección del producto, diversos estudios sugieren que se debe a la carencia de sistemas de información; esto convierte a la compra de carne en una necesidad alimentaria de proteína, en vez de sentir un reconocimiento de marca. Ya que el consumidor compra la carne porcionada (cortes secundarios) y suele congelarla sin identificación alguna.

De acuerdo con las cifras oficiales de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), los hogares mexicanos, en promedio, destinan el 22 % del gasto total de alimentos y bebidas, para el consumo de carne, de este porcentaje, el 80 % se destina para consumo de carne fresca, y el 20 % restante para la compra de productos



procesados como jamón, salchicha y chorizo. Asimismo, una encuesta realizada por la SADER en 2002 evidenció que los cortes de mayor consumo en México fueron el bistec y la milanesa, y en orden descendente, la pulpa, costilla y carne molida. Además, se observó que, en cortes como el lomo, filete y otros especiales, un sector de la población mexicana les destina un porcentaje menor del ingreso, ya que en la mayoría de los consumidores no se consideran los atributos de certificación para el consumo de la carne, ni es de preocupación latente para el consumidor un etiquetado oficial del producto de su compra.

Debido a que estas percepciones del consumidor no repercuten implícitamente en la cadena productiva, al momento de colocar un precio de oferta, se deben tener en cuenta las dificultades en la distribución de la carne de res, debido a que existen muchos intermediarios y grandes distancias para el proceso de distribución regional, se deben gestionar costos asociados a la compra de animales, transporte y energía; además que se debería considerar un costo por las emisiones inherentes al consumo energético durante la producción y aquellas emitidas por los vehículos durante el transporte de las medias reses de animal y la distribución de los productos. Se desconoce por completo si los pequeños o medianos productores toman en cuenta lo anterior y solo basan su precio de oferta en la inversión que realizan en insumos, animal y mano de obra.

Trazabilidad involucrada en la salud pública

La carne es considerada un alimento de alto riesgo debido a que su composición nutricional permite que sea fácilmente contaminable, por ende, puede provocar afectaciones en la salud de los consumidores, esto, entre varias razones, ha hecho que el consumidor caracterice las variables o atributos que inciden sobre la elección de este alimento al momento de su adquisición y consumo. Dichos parámetros pueden ser agrupados por: apariencia visual (color de la carne y de la grasa subcutánea, firmeza o consistencia, textura, cantidad de grasa, marmoleo y exudado), calidad organoléptica (jugosidad, ternura, aroma, sabor) y otros factores que podrían incluir precio, forma de preparación, envasado e información sobre el valor nutritivo, salud y seguridad.

La trazabilidad es un aspecto por el cual los consumidores no están dispuestos a pagar. Sin embargo, debido a los brotes de enfermedades transmitidas por alimentos de origen animal y alergias causadas por inadecuada información en el producto, se está desarrollando un segmento de consumidores interesados en conocer con mayor detalle el origen y composición de los alimentos que consume. Estudios recientes de 2018 a 2020 han comprobado que existe un nicho de consumidores dispuestos a pagar hasta el 16% sobre el precio de la carne, por conocer información agregada a cada producto. Lo primordial para mejorar un sistema de trazabilidad es conocer la percepción de las personas dedicadas a la actividad ganadera o entidades vinculadas a la producción y



procesamiento de carne fresca, con el fin de conocer su punto de vista sobre la situación de las condiciones de producción, comercialización y oportunidad de participar en los diferentes mercados de carne fresca y refrigerada.

Trazabilidad en contexto latinoamericano y nacional

El Comité Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria aprobó para ocho países de Latinoamérica y Sudamérica el desarrollo de un programa de sistema armonizado de rastreabilidad Bovina, donde impulsaron la trazabilidad dentro de un contexto internacional para mejorar el desarrollo económico de los países involucrados.

Lamentablemente México no ingreso al programa y solo género en marzo del 2022 el Sistema de Trazabilidad de Mercancías Agropecuarias (SITMA), plataforma tecnológica que dará seguimiento a los bovinos desde su nacimiento hasta el plato del consumidor considerando detalles sobre el origen del animal, alimentos, medicamentos que ha recibido, así como su movilización, lugar de engorda, sacrificio y procesamiento.

Relación de la trazabilidad y la calidad de la carne de res

Pese a que para muchos consumidores el término trazabilidad resulta ser confuso, recientes estudios han encontrado que se tiende a establecer una relación entre trazabilidad y seguridad alimentaria, así como con la calidad del producto. Estas características en la ciencia de la carne son el resultado de factores *ante-mortém* y *post-mortém* que son objeto de análisis en diversas investigaciones, aunque para el consumidor final no tengan tanta relevancia, para el productor y comercializador son fundamentales, ya que le permiten entregar un producto final de calidad. Existen y si aplican diferentes variables que inciden directamente en la calidad del producto final, desde el proceso de crianza hasta la distribución y comercialización de la carne. La mayoría de estos aspectos están relacionados, directa o indirectamente, con características de factores productivos o medioambientales y procedimientos industriales de elaboración y comercialización; diversos estudios en varios países y regiones han demostrado que los criterios de calidad varían significativamente, sin embargo, los aspectos más importantes son: color, pH, sabor, jugosidad, terneza, frescura, componentes nutritivos y bajo contenido de grasa.

La ciencia de la carne es una disciplina que envuelve una gama de factores complejos que impactan la calidad del producto final; cada uno de estos factores forman parte de variables controladas a lo largo de la cadena de suministro y son las que se deben ver reflejadas en la trazabilidad del producto como evidencia de un proceso controlado que cumple los requisitos de calidad especificados; aquí es donde se centran los rendimientos tecnológicos de la calidad de la carne (pH, color, capacidad de retención de agua, composición química y características organolépticas) quienes permiten el



adecuado procesamiento de un alimento y con ello la trazabilidad logra emplearse como un mecanismo de control de la calidad final del producto, ya que son parámetros medibles con técnicas y equipos específicos estandarizados para identificar y medir alteraciones del mismo.

La importancia de la correlación de trazabilidad y calidad de la carne en la cadena productiva

Para lograr visualizar la importancia de la realización de estudios preliminares sobre la cadena bovina, sistema de identificación y trazabilidad, se debe entender que conocer el funcionamiento de toda la cadena productiva nos ayudara a determinar alcances, costos y plazos de implementación de acuerdo con las condiciones de cada país.

Los beneficios de un programa de trazabilidad para la industria y el consumidor son claros, ya que favorecen la gestión de la calidad de la carne de res al reducir productos no aptos, permiten la diferenciación entre distintos productores, mejora la gestión y la seguridad alimentaria se ve reforzada al permitir la retirada de productos mediante el empleo adecuado de los sistemas de alerta. Esta correlación no debe perderse de vista para aquellos exportadores que tienen como objetivo la conquista de nuevos mercados en el ámbito internacional, debido al incremento del número de países donde la trazabilidad es una herramienta obligatoria (Japón, la Unión Europea, Corea del Sur, Brasil, Australia, Nueva Zelanda, Canadá, Argentina y Uruguay) y donde el factor de inocuidad se puede convertir en óbice o dificultad para la exportación; por lo tanto, se requieren programas e investigaciones sobre el mejoramiento de la calidad en materia de sanidad en la producción ganadera de carne de res.

Conclusiones

En retrospectiva la unión de la trazabilidad y la calidad de la carne busca determinar cuál será el impacto que ejercerán ciertas variables en un resultado (producto final) teniendo en cuenta los conceptos de la ciencia de la carne y que, en la obtención de ésta, influyen diferentes variables no sólo cuantitativas sino cualitativas, de forma individual o simultáneamente, se deben establecer análisis estratégicos con el fin de reducir la complejidad de la correlación de las mismas e identificar aquellas que tiene mayor influencia o dependencias sobre otras, para obtener herramientas que apoyen a la planeación frente a futuros problemas y anticiparse a ellos de forma estratégica dentro de toda la cadena productiva.

Existen estudios generales a nivel empírico en materia de trazabilidad y consumo. Por otro lado, hay muy pocos estudios empíricos que se hayan centrado en analizar, desde el punto de vista del consumidor, la trazabilidad de los productos de la carne de res en México y los factores que afectan al proceso. Adicionalmente, existen estudios que han



investigado, desde el punto de vista de la oferta, el diseño de sistemas de trazabilidad y los beneficios de implantar sistemas de trazabilidad dentro de la cadena de valor de productos pecuarios. Sin embargo, no se han encontrado estudios que aborden simultáneamente la implantación de los sistemas de trazabilidad a lo largo de la cadena de valor y su relación con la calidad tecnológica de la carne. La integración de ambas dimensiones, parámetros productivos y el efecto que integran en el producto final, permitiría no solo aprovechar al máximo las ventajas de los sistemas de trazabilidad sino también diseñar políticas de comunicación que le permitieran al productor comprender las utilidades y beneficios que le reporta la trazabilidad.

Referencias

- Arango, M. X., Cuevas, V. (2014). Método de análisis estructural: Matriz de impactos cruzados, multiplicación aplicada a una clasificación (MIC MAC) (Universidad Autónoma de Nuevo León). Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/6167>.
- Bianchi, T., Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control*, 33(1), 32–48.
- Calvo, D., Mendes, R., Silva, H. A., Verrez-Bagnis, V., Perez-Martin, R., Sotelo, C. G. (2016). Evaluation, signalling and willingness to pay for traceability. A crossnational comparison. *Spanish Journal of Marketing - ESIC*, 20.2, 93–103. doi.org/10.1016/j.sjme.2016.07.001
- COMECARNE (Consejo Mexicano de la Carne). (2022). Compendio Estadístico 2022. Disponible en: <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2022/>.
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N y Leip, A. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2, 198–209.
- Espineira, M., SantaClara, F. (2016). Advances in food traceability techniques and technologies. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/advances-in-food-traceability-techniques-and-technologies/espineira/978-0-08-100310-7>.
- FAO. (2022). America Latina y el Caribe podría erradicar el hambre al año 2025. Disponible en: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/422993/>.
- Giraud, G., Amblard, C. (2003). What does traceability mean for beef meat consumer. *Sciences Des Aliments*, 23.1, 40–46. doi.org/10.3166/sda.23.40-46
- Grigioni, G. M., Testa, M.L., Soteras, T., Paván, E. (2022). Calidad de la carne desde la mirada de los consumidores. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)



Argentina. IDIA21.1.

- Grunert, K. G. (1997). What's in a steak? A cross-cultural study on the quality perception beef. *Food Quality and Preference*, 8(3), 157–174. doi.org/10.1016/S09503293(96)00038-9
- Ingram, P.B., Arce, C.B.A. (2021). Impacto de la pandemia COVID-19 en la ganadería bovina a nivel nacional y estatal Veracruz. *Ciencia Administrativa*, 2.2021.
- Kher, S. V., Frewer, L. J., Jonge, J. D., Wentholt, M., Davies, O. H., Luijckx, N. B. L. (2010). Experts' perspectives on the implementation of traceability in Europe. *British Food Journal*, 112.3. 261e274.
- Liddell, S., Bailey, D. V. (2012). Market opportunities and threats to the u. s. pork industry posed by traceability systems. Department of economics, Utah State University, Logan, UT. *International Food and Agrobusiness Management Review*.4.219.
- Mancilla, L. J., Saavedra, L., Torres, Y. (2014). Núcleo Integrador 8vo Semestre Internacionalización Del Producto “Salchichas Viena De Pollo” De La Empresa Zenu S.A.S Hacia Canada. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga Administración De Negocios Internacionales.
- OECD (Agricultural Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). (2018). Meat consumption - OECD Data. Retrieved February 15, 2019, Disponible en: <http://data.oecd.org/agrooutput/meatconsumption.htm>
- Official Journal of the European Communities. 2002. Regulation (EC) No. 178/2002 of the European Parliament and the Council of 28 January 2002. doi.org/DOI:10.1007/978-1-137-54482-7_19
- OIRSA (Organismo Internacional Regional De Sanidad Agropecuaria). (2018). Estándar regional de trazabilidad bovina. Sistema armonizado de rastreabilidad bovina Disponible en: https://www.oirsa.org/contenido/2018/salud_animal/Estandar%20Regional%20de%20Trazabilidad%20Bovina.pdf
- Pérez, V. M., Toro, G. D. (2019). Análisis de canales de comercialización y trazabilidad de la carne fresca en el departamento de sucre y propuestas de estrategias hacia el mercado nacional y de Canadá. Cap.VIII.10.21892/9789585547193.8.



-
- Prieto, M., Mouwen, J., M., López, P., Secundino, C., Sánchez, A. (2008). Concepto de calidad en la industria Agroalimentaria. *Interciencia*, 334, 258-264.
- Rijswijk, W. V., Frewer, L. J., Menozzi, D., FAioli, G. (2008). Consumer perceptions of traceability: a cross-national comparison of the associated benefits. *Food Quality and Preference*, 19, 452- 464.
- SAGARPA (secretaría de Ganadería, Agricultura, Desarrollo Social, Pesca y Alimentación. México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Disponible en: <http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/publicnew/productosPecuarios/1272>
- Schmidt, B. V., Moreno, S. M. (2021). modelo multiobjetivo para optimizar la trazabilidad en la cadena de suministro de la carne considerando aspectos económicos y ambientales. IV Simposio Argentino de Informática Industrial e Investigación Operativa. JAIIO 50.
- Schoroeder, C., Tonsor, G. T. (2012). international cattle id and traceability: competitive implications for the US. *Food Policy*, 37, 31-40. doi:10.1016/j.foodpol.2011.10.005
- Teira, G., Perlo, F., Bonato, P., Tisocco, O. (2006). Calidad de la carne: aspectos nutritivos y organolépticos relacionados con los sistemas de alimentación y procedimientos tecnológicos. *Ciencia, docencia y tecnología*.33, 173-193.



Úlcera gástrica en caballos cuarto de milla, manejo y práctica alimenticia

Heriberto Rodríguez Frausto^{1*}, Fabiola Rochín Berumen¹

¹Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México. *mvzhrf1958@hotmail.com, fabiolauaz@outlook.com

Introducción

El caballo es un animal monogástrico, el cual en su estómago se han identificado cuatro regiones anatómicas distintas basándose en su estructura histológica y su función, y son; el fondo dorsal, el fondo ventral, los cardias y el píloro (Figura 1, izquierda). En este sentido, a la mucosa se le reconocen dos porciones, una escamosa dorsal y otra glandular ventral, las cuales están divididas por el *margo plicatus*. La región escamosa dorsal tiene una superficie suave y brillante, característica propia del epitelio escamoso estratificado, con células epiteliales queratinizadas, además contiene una lámina propia y una capa muscular. Su espesor varía entre los 309 a 1154 μm , ya que es más gruesa en la parte que se fusiona con el *margo plicatus*, situación que parece ser favorable para resistir los embates de las sustancias ácidas del estómago y presumiblemente como una adaptación a una mayor exposición al ácido en esta región. La porción escamosa no presenta una fisiología propia de absorción y secreción, tiene un rol de porción protectora. Entonces, la porción glandular cubre una función fisiológica importante, ya que se encarga de secretar y regular todas las sustancias que conforman el medio ambiente ácido del estómago sobre todo en la parte ventral del estómago, en donde el pH es totalmente ácido (2.8 en la escala), manteniéndose estable a lo largo del día. Contrariamente a la parte ventral, la porción dorsal del estómago esta más expuesta a fluctuaciones del pH, tendiendo a ser más alcalino (6.8 en la escala). Dichos cambios son variados durante el día y están más asociados a cambios alimenticios, a la secreción de saliva, a los ácidos grasos de cadena corta, el reflujo duodenal y contenido biliar. Es por ello que el pH en la región dorsal no es tan estable como en la porción glandular, ya que el pH solo permanece en cierto punto durante cinco horas. Estas características son muy variadas, conforme el animal nace, pasa a la fase de crecimiento de potro hasta llegar a caballo adulto. Por ejemplo, a diferencia de los caballos adultos, el pH gástrico en las regiones proximal y distal de los potros recién nacidos es muy variable, con un pH medio de 5.5. La mucosa escamosa es delgada al nacer y se vuelve progresivamente más gruesa, lo que se considera una fase de transición para una adecuada adaptación a una mayor exposición de un ambiente ácido (Figura 1, derecha).

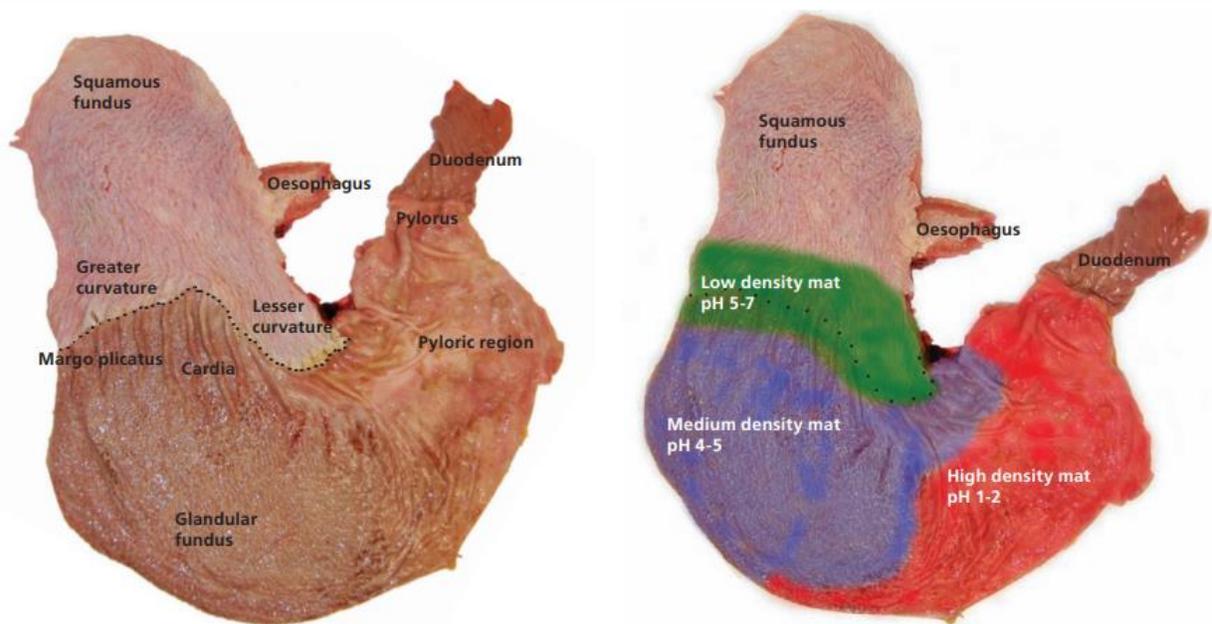


Figura 1 (izquierda): anatomía de la mucosa gástrica del equino, (derecha) pH gástrico y estratificación del contenido.

El síndrome de úlcera gástrica en equinos (SUGE), es la afección más común de estos animales. El término es usado para describir las alteraciones erosivas y ulcerativas de esta especie. Ataca a caballos de cualquier raza, sexo y función zootécnica. El síndrome ulcerativo es una condición de los caballos y se caracteriza por úlceras en el esófago terminal, estómago proximal (escamoso), estómago distal (glandular), y duodeno proximal. Las lesiones ulcerativas no guardan una característica uniforme, de ahí que se ha establecido usar una clasificación, intentando con esto lograr definir un estándar, sin embargo, dadas la variación racial, las actividades zootécnicas, el trabajo, la alimentación y el alojamiento, son algunas de las razones por las que solo se tiene una aproximación a la clasificación de las úlceras en el caballo. Pueden clasificarse en primarias y secundarias según la fisiopatología. La primaria en el tracto gastrointestinal sano, en otras palabras; una primera presentación, mientras que la secundaria, se debe al regreso del flujo gástrico como consecuencia de otro tipo de enfermedades relacionadas principalmente con estenosis pilórica o alguna enfermedad inflamatoria intestinal. Las úlceras se consideran defectos en la mucosa escamosa con cierto nivel de profundidad para darle esa categoría. La úlcera gástrica duodenal equina describe las lesiones de la mucosa glandular que involucra al cardias, fondo glandular ventral, el antro, el píloro y el duodeno proximal, siendo esta última porción la más afectada. La prevalencia de la úlcera gástrica glandular es alta (25%–65%), particularmente en caballos de deporte y con largo tiempo de inactividad, y en los últimos años se ha estado reconociendo más puntualmente. Se desconoce patogenia de la úlcera glandular, pero se sugiere una falla en los mecanismos de protección gástricos, incluida una alteración en el flujo sanguíneo



de la mucosa afectando la producción de moco y bicarbonato, o bien como lo han considerado varios autores; como una extensión de la enfermedad inflamatoria intestinal.

Comúnmente se debe de pensar en localizar en la úlcera una depresión tipo cráter formado por un tejido firme y hemorrágico cuando se encuentran activas, pues se ha perdido la estructura epitelial, dejando al descubierto la parte muscular de la mucosa. El tejido adyacente comienza a cambiar dado que hay la influencia de neutrófilos y células que entraron en fase necrosis, comenzando así una fase de engrosamiento debido a la queratinización. La profundidad de la úlcera puede ser tal que llega a perforar la pared del estómago con el consecuente desarrollo de una peritonitis.

Clasificación de la úlcera gástrica equina

Algunos puntos controversiales de la clasificación de la úlcera en el equino se dan en los puntos que algunos autores plantean respecto de la confiabilidad de los descriptores, ya que puede ser un problema más grande que la ausencia de un sistema de calificación confiable. En un estudio que evaluó la enfermedad gástrica en potros destetados, dos médicos experimentados solo acordaron si la enfermedad glandular estaba presente o no en el 52 % de los casos, lo que indica que hay diferencias de opiniones sobre lo que se considera normal en el caso de daño a la mucosa glandular. Otros trabajos, por ejemplo, informan no saber a qué atribuir la presencia de hiperemia glandular en ausencia de algún otra lesión o signo clínico. Por otro lado, se ha establecido la cicatrización de lesiones ulcerativas como grado 0 o 1, lo que hace suponer que la úlcera gástrica de grado 1 es clínicamente insignificante. Entonces, se reportan trabajos en los que un tercio de los casos clasificados como curados, producen una hiperemia cuando se interrumpe el tratamiento. Por lo tanto, aun hace falta más trabajo para homogenizar más criterios con respecto a la clasificación de la úlcera gástrica, sobre todo, en aquellos casos de lesiones asociadas a daños ulcerativos en la región glandular.

La clasificación de la úlcera gástrica equina más aceptada internacionalmente va de grado 0 a 4. Dicha graduación se considera más aplicable a la úlcera desarrollada en la zona escamosa ya que a nivel glandular se puede presentar la úlcera de manera única o combinada con otros daños; ejemplo de ello son los lipomas glandulares. Es en esta parte donde se presenta aun cierto debate sobre la clasificación. Por ejemplo, se dan opiniones en el sentido de que dicha clasificación no se aplique para casos clínicos individuales. Al respecto, el estudio que se realizó en caballos cuarto de milla, ejemplar equino representante de México, mostró muy similar el número de caballos en los grados de ulceración 1 y 2, siendo el daño ulcerativo grado 3 el que presentó más casos, sobre todo en aquellos equinos criados en zonas donde la disponibilidad de granos para la dieta es alta, al igual que la predisposición alta para el desarrollo de úlceras.



En un estudio reciente, la clasificación de la úlcera gástrica en equinos y su caracterización es la siguiente:

1. Grado 0 Epitelio intacto, sin apariencia de hiperqueratosis
2. Grado 1 Mucosa intacta, áreas de hiperqueratosis
3. Grado 2 Lesiones pequeñas, únicas o multifocales
4. Grado 3 Grandes lesiones superficiales únicas o extensas
5. Grado 4 Lesiones extensas con áreas de lesiones profundas



Figura 2. Representación de una úlcera ubicada en la región escamosa del estómago equino.

El caballo cuarto de milla

Son de poca estatura y corpulentos, de constitución musculosa, de pecho grande y ancho. Son famosos por sus arranques veloces, su habilidad en los giros y paradas, su velocidad en distancias cortas y su inteligencia. Miden de pie entre 1.43 y 1.60 m a la cruz a la cruz, pesan de 431 a 544 kg y tienen un temperamento tranquilo y cooperativo. Esta raza se caracteriza por tener una cabeza bien proporcionada, una buena inserción de esta en el cuello, ni demasiado fino ni demasiado grueso. y un buen tórax. Mirándolo en conjunto es armonioso, estético y atractivo, además de ser longevo.

El caballo cuarto de milla, por su masa muscular, es un caballo relativamente bajo de estatura para lo que pesa. Su velocidad y versatilidad se basan en su poderosa musculatura y la ubicación de su centro de gravedad mucho más adelante que cualquier



otro caballo. Se caracterizan por ser caballos fuertes, resistentes, vivaces, de tamaño mediano, con gran desarrollo de sus masas musculares, en especial del tren posterior y su reconocida mansedumbre. La gama de pelajes es muy amplia, con siete colores básicos, sólo no se aceptan los pintos ni los manchados como el appalossa. Es un animal muy sensible y tratable. Tiene la velocidad de los caballos de sangre caliente de sus ancestros, y la estabilidad de los caballos de sangre fría. El objetivo de este trabajo es hacer una revisión de literatura sobre el manejo y las prácticas nutricionales comunes en los equinos y los efectos que tienen los factores de riesgo que de ahí se generan sobre la mucosa gástrica en caballos cuarto de milla.

Actividad de los equinos y la úlcera gástrica

El ejercicio es una de las causas principales del síndrome de úlcera gástrica equina (SUGE). Los caballos de carrera, de resistencia, de trabajo, e incluso caballos con adiestramiento especial sufren este padecimiento. Cuando el caballo se mueve y trabaja, la presión intraabdominal aumenta y el contenido líquido ácido del estómago distal se impulsa hacia adelante y tiene contacto con la mucosa no glandular sensible. A medida que aumenta el ejercicio, aumenta el tiempo de exposición del epitelio no glandular, agravando la ulceración. Las concentraciones séricas de gastrina aumentan durante el ejercicio, estimulando también la secreción de ácido clorhídrico, y así, acidifican más el pH del estómago. Entonces se uniformiza el criterio de vincular el ejercicio con la ulceración; asociando además el régimen de entrenamiento, la alimentación, y el confinamiento. Existen reportes en la literatura que indican que, si el caballo se ejercita más de 5 días y corre por debajo de las expectativas (Función zootécnica), más el entrenamiento forzado, es un animal propenso a la ulceración.

Alimentación de los equinos y su relación con la úlcera gástrica

La manera en que a los caballos se les alimentan y se le brinda alojamiento, tiene un efecto sobre el SUGE. Caballos en competencia o entrenamiento tienen poco o nulo acceso a las áreas de pastoreo, con dietas altas en concentrado y consumo limitado de forraje, por lo que presentan períodos de privación de alimento debido a horarios de alimentación. Varios estudios afirman en relación al pastoreo, que los caballos invierten pastando entre 10 y 15 horas por día, o sea con poco ejercicio y con períodos de descanso para cubrir otras necesidades. También se reporta, que los caballos que consumen pasto tienen tasas más bajas de ulceración debido a que dicho consumo estimula la producción de saliva y ésta se produce constantemente por el pastoreo libre, por lo tanto, se produce un equilibrio con la secreción constante de ácido clorhídrico a nivel gástrico. Sin embargo, esto cambia a menudo dependiendo de las actividades que deba realizar para su competencia o por rutina disciplinarias a su condición de cuarto de milla, pues resulta un inconveniente ofrecer dietas altas en concentrado, ya que la mayoría de los caballos en entrenamiento o competencia reciben grandes volúmenes y



a intervalos de aproximadamente 10 a 12 h. Esto hace que los carbohidratos hidrolizables generen un aumento en la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), mismos que contribuyen a la inducción del SUGE.

La ingestión de concentrados de alta calidad y el aumento del volumen de alimentos ricos en almidón se han asociado con cólicos y ulceraciones gástricas. Inherentemente, estos caballos tendrán períodos de privación de alimentos o ayunos que pueden conducir a una disminución prolongada del pH gástrico. Entonces la alimentación en cuanto a tipo, frecuencia y lugar donde se lleva a cabo, ya sea en pastoreo o estabulado está relacionada con algunos puntos como lo son: a menor provisión de heno para consumo, es igual a mayor predisposición para la presentación de úlceras, lo mismo sucede con menor número de comidas por día, y raciones con mayor proporción de granos y almidón. Afortunadamente, eso se mitiga con acceso a pastoreo. Esta situación la vive el caballo cuarto de milla criados y manejados en zonas con humedad relativamente alta en la que la producción de maíz es a una escala media alta y por lo tanto, la practica alimenticia del equino se rige por la gran disponibilidad de granos, por lo que el manejo en establo es más común a comparación con el caballo que se explota en zonas más pobres en producción de forrajes. En esta última situación, en donde también predomina el caballo cuarto de milla con fines de charrería y trabajo, se acostumbra más un pastoreo temporal con alimentación intermitente con heno en caballeriza, por lo mismo, la incidencia de úlcera gástrica es más baja.

Alimentación continúa contra intermitente de los equinos

Se dan situaciones en las que caballos se mantienen constantemente en agostaderos de condiciones diferentes de disponibilidad de pastos, sin embargo, una constante es que sólo se ejercitan ligeramente por lo que pueden presentar una prevalencia muy baja de úlceras. Al respecto hay reportes que sitúan dicha prevalencia en un 11%, pues la actividad pastoril promueve una secreción constante de bicarbonato de sodio como componente salival, lo que da como resultado una neutralización del contenido ácido del estómago y que conjuntamente con factores de crecimiento, favorecen la restitución y restauración de la mucosa. Por lo tanto, la lógica indica que un cambio de ambiente hacia la estabulación en automático se debe pensar en que se iniciara la ulceración escamosa, y con esa misma lógica, algunas lesiones se restauran al regresar a los equinos a los pastos. Sin embargo, aún queda pendiente esclarecer el efecto final de los cambios de estabulado a pastoreo. El pH estomacal es mayor o igual a 4 durante una gran parte del día. Sin embargo, cuando la alimentación se restringe a los caballos de carreras o, como sucede con los caballos estabulados, el pH gástrico baja rápidamente y la mucosa no glandular se expone a un medio ácido. Las comidas intermitentes, tradicionalmente se caracterizan por ser altas en granos y de consumo rápido, lo que conduce a una disminución en la producción de saliva y a un tiempo menor de almacenamiento del



contenido alimenticio en el estómago. También, la fermentación de las dietas con alto contenido de grano provoca un incremento en los ácidos grasos volátiles que producen las bacterias residentes del estómago, por lo que este medio gástrico acidificado puede conducir a la ulceración. Entonces, el consumo de alimento concentrado en equinos se considera un factor que puede detonar el desarrollo de la ulceración gástrica porque contiene altas cantidades de carbohidratos no estructurales. Como el concentrado puede fermentar en el estómago, los altos niveles de ácidos grasos volátiles disminuyen el pH gástrico, lo que lleva a la ulceración. La mucosa escamosa es la que corre más riesgo, es mayor para los animales que consumen concentrado en comparación con los caballos que consumen solo pastura verde. La importancia de la fibra en la patogenia de la úlcera gástrica escamosa del equino es demasiado importante por dos motivos; uno, al aumentar la producción de saliva al masticar, tiene un efecto amortiguador sobre el ácido estomacal y dos, el bolo de fibra ayuda también a proteger del oleaje que produce el contenido gástrico ácido. Por lo tanto, al alimentar con heno, buscando el tamaño adecuado de la fibra, se logra una capa protectora temporal, y da lugar a prevenir el desarrollo de úlceras y amortigua en las que están activas.

Alojamiento de los equinos y su influencia con la úlcera gástrica

El alojamiento en establos es un factor de riesgo para el desarrollo de úlcera en el equino. Estudios han demostrado que, en ninguna de las regiones gástricas, (proximal y ventral), cambia significativamente el pH gástrico en caballos alojados solos en caballerizas, lo mismo sucede en caballos que comparten con un acompañante, ni con los que se alojan en potreros. EL pH en el estómago proximal es menor durante la madrugada, independientemente del tipo de alojamiento y del consumo que se realice durante estas horas, sin embargo, no hay un mecanismo fisiopatológico que apoye el que por sí solo el alojamiento cause úlcera gástrica. Se han cuestionado los efectos del alojamiento de los equinos en establos pues se considera un factor de riesgo asociado al estrés, pues niveles altos de cortisol pueden relacionarse con el aumento de secreción de gastrina, sin embargo, esto también debe asociarse con el tipo de dieta que acompañe a la situación de estabulación. Esto ha promovido estudios donde se midieron los niveles de pH gástrico durante 72 h en equinos sometidos a tres situaciones ambientales, las cuales fueron: compararon equinos en pastoreo, contra estabulados solos y estabulados acompañados por otro congénere y su relación sobre el pH proximal y ventral. Los caballos rotaron durante 24 h cada situación ambiental y se mantuvieron con su dieta normal (heno *ad libitum* y oferta de grano) durante todo el estudio. Posiblemente el tiempo dicta gran parte de lo que pudiera esperarse en ese estudio pues ni el pH gástrico proximal ni el ventral de 24 h cambiaron significativamente entre las 3 situaciones ambientales. Los cambios más significativos se presentaron en el pH gástrico proximal promedio por hora pues disminuyó significativamente en el intervalo de tiempo comprendido entre la 01:00 y las 09:00 hrs en comparación con el intervalo de tiempo



entre las 13:00 y las 20:00 h, independientemente de la situación ambiental, sin embargo; en el resultado final concluye que ni la media ni la mediana del pH gástrico ventral por hora variaron significativamente con la hora del día, por lo que se concluyó, que el cambio de alojamiento no resultó un factor significativo en cambios de la mucosa gástrica ante las exposiciones de ácido gástrico en ninguna de las regiones del estómago equino, presentándose estable el pH glandular, tal como se expuso párrafos arriba.

Sinología clínica del síndrome de úlcera gástrica equina

Los signos y compromisos clínicos son muy variables, desde lesiones leves y sin consecuencias, hasta graves y debilitantes dependiendo del grado del que se trate. La prevalencia de úlcera gástrica es también variable, pero en caballos dedicados al deporte pueden mostrar valores de hasta el 89% en las diferentes graduaciones ulcerativas típicas. Los signos clínicos más comúnmente observados en las fases iniciales del síndrome ulcerativo son: cólicos con marcada presentación postprandial, inapetencia o consumo de alimento infrecuente, aunque para algunos no se ha logrado establecer una clara diferencia si esa inapetencia es más vista en ulceración de la porción gástrica escamosa o en la región glandular. La pérdida de condición corporal es un signo que se reporta en la mayoría de fuentes que informan al respecto del problema ulcerativo, sin embargo, hay literatura que también cuestiona esas afirmaciones. En el estudio realizado en el caballo cuarto de milla en zonas orográficas diferentes, a pesar de presentarse vestigios de sangre en heces de caballos con úlcera gástrica, en la biometría hemática no se observaron datos significativos que hagan referencia a la presencia de anemia. Lo mismo sucede en el estado que guarda el pelaje de los equinos que sufren de úlcera, la mayoría de los autores relaciona lo hirsuto del pelaje en equinos con daño gástrico, sin embargo, otros autores consideran esta situación no asociada directamente al problema ulcerativo. Esta situación fue observada en los equinos que mostraron úlcera gástrica con presencia de racimos de larvas de *Gasterophilus equi*. Un acuerdo más generalizado se relaciona con la diarrea como signo clínico del síndrome ulcerativo; al parecer no es de mayor significancia. Lo que si se encontró en el estudio de los caballos cuarto de milla fue la presencia de varios tipos de parásitos sin consecuencias diarreicas. Y como ya se mencionó, la presencia de sangre en heces tiene grados de incidencia importante, pero sin repercusión en las lecturas hemáticas.

Otro signo clínico se refiere al comportamiento de los equinos que pasan por periodos de patología ulcerativa gástrica, el cual está relacionado con la presencia de grados perceptibles de dolor sin llegar al umbral del cólico. Se relaciona también con factores estresantes que experimenta el caballo ante esa situación. Estudios con muestreos de cortisol de largo plazo relaciona más los niveles altos de este compuesto con mayor presencia de la úlcera en la porción escamosa que en la glandular. Estas manifestaciones de cambio en el comportamiento por estrés son asociadas a la presencia de úlcera



gástrica cuando los equinos estabulados pasan tiempo mordiendo el pesebre, como otro signo clínico. El bajo rendimiento puede ser un signo clínico muy relativo, es decir no se tienen elementos que confirmen que se debe al síndrome ulcerativo, en todo caso, una pérdida masiva de sangre por la presencia de un grado de ulceración máximo se puede inferir como causa principal del bajo rendimiento. Lo que más refiere la literatura es la generación de puntos de dolor cuando el caballo alarga la zancada, limitando con esto el esfuerzo máximo, además de ocasionar con ello un bajo consumo de oxígeno. Esos signos se han descrito más en la lesión ulcerativa de la región glandular mostrando el caballo de un rendimiento deficiente, signos recurrentes leves de dolor abdominal, pérdida de peso inexplicable, alteración del apetito, aumento del nerviosismo, agresión y cambios en la capacidad de conducción, incluida la renuencia a virar y avanzar. La controversia al respecto se da en el sentido de que los signos clínicos no se correlacionan con las lesiones clínicas y no pueden utilizarse para el diagnóstico definitivo de úlcera gástrica ya que dichos signos pueden también estar presentes en cólicos leves o parasitosis.

Diagnóstico de la úlcera gástrica en equinos

El único método definitivo para diagnosticar el síndrome de úlcera gástrica en equinos es la gastroscopia. Esto permite evaluar la presencia, ubicación y gravedad de las lesiones además de la respuesta al tratamiento. Sin embargo, la apariencia de la mucosa no es un buen indicador de los cambios patológicos subyacentes, por lo que varios autores sugieren tener cuidado al diagnosticarla, pues la apariencia de la lesión se correlaciona mal con la gravedad en la histopatología.

Manejo del complejo ulcerativo en el equino

Actualmente, el manejo y tratamiento de la úlcera gástrica se ha enfocado mayormente sobre los factores de riesgo. Sin embargo, puede ser no apropiado, ya que los procesos fisiopatológicos marcan diferencias, dependiendo si el daño es escamoso o glandular. La relación entre la presencia o gravedad de la úlcera escamosa y la presencia o gravedad de la úlcera glandular es inconsistente, lo que supone que los dos tipos de enfermedad gástrica pueden requerir diferentes estrategias de tratamiento o manejo.

Con base en los factores de riesgo identificados, parece que disminuir la duración o la frecuencia del ejercicio puede ayudar a disminuir el desarrollo de la enfermedad. Además, minimizar el estrés puede ayudar a disminuir la formación de enfermedad glandular. Por lo tanto, se vuelve un desafío evaluar lo que para un caballo en lo particular resulta estresante. Los factores alimenticios son la base para el manejo del problema después de aplicar el tratamiento paliativo, aunque algunos autores afirman que los factores dietéticos no son muy importantes para el daño ulcerativo glandular como lo resulta ser para el daño en la región escamosa.



Sin embargo, los hallazgos en estudios relacionados con el manejo de la úlcera de los equinos sugieren aumentar la disponibilidad de pasto y forraje y disminuir la frecuencia de aporte de granos en la dieta como una práctica de manejo eficiente para el tratamiento de la úlcera. Por lo tanto, aumentar la producción de pastos y disminuir los concentrados de granos también podría ser una buena estrategia de manejo útil para prevenir la úlcera gástrica equina.

En las intervenciones farmacológicas predomina la supresión del medio ambiente ácido del estómago mediante el uso de antagonistas de histamina tipo 2 (antagonistas H₂), agentes de recubrimiento (sucralfato) y la aplicación de prostaglandinas sintéticas (misoprostol). Los inhibidores de la bomba de protones unen de manera irreversible a la H⁺/K⁺ ATPasa (la bomba de protones) en la célula parietal, que es el paso final en la secreción de ácido. Como consecuencia de la unión irreversible a la bomba de protones y sus efectos en el paso final de la secreción ácida, estos compuestos tienen una acción más duradera y son más efectivos que los antagonistas H₂.

Conclusiones y aportaciones principales

El ambiente ácido en el sistema digestivo del equino puede ser de alguna manera controlado a través de una buena práctica alimenticia, y de esta forma evitar los embates que provoca el ácido clorhídrico y los ácidos grasos volátiles, que pueden desarrollar úlcera gástrica en la región escamosa del estómago. La presencia de alimento puede controlar de alguna manera la secreción de jugo gástrico. En estudios de esta naturaleza siempre habrá limitantes dado que los modelos experimentales son más difíciles de implementar en equino, por lo que algunos estudios al respecto no cuentan con datos sobre la cantidad que consumía cada equino en pastoreo, de ahí ciertas inconsistencias en cuanto a contenido y cantidad de alimento. En lo que se refiere a la acidez del estómago, se recomienda administrar una cantidad de 1.5% de materia seca de forraje por peso corporal, de manera frecuente y en pequeñas cantidades para mantener seguro el ambiente interno.

La importancia que tiene la saliva como elemento amortiguador del pH gástrico; el caballo produce en promedio 440 g de saliva por cada 100 g de materia seca, mientras que cuando son alimentados sobre la base de concentrados, la producción de saliva solo alcanza los 206 g por cada 100 g. Los equinos que consumen alimento en base a forraje molido, con buena cantidad de maíz y con más tiempo en caballerizas, supone una práctica alimenticia de consumo rápido e infrecuente con las consecuencias ya mencionadas. La provisión de solo una pequeña cantidad de comidas por día y períodos de más de 6 horas sin acceso a forrajes, aumenta la probabilidad de ulceración gástrica. Por el contrario, los equinos que consumen dieta de manera más constante con una base



mayor de forraje de avena o alfalfa, les permite tener alimento de manera más prolongada en su comedero. En general el caballo en varias regiones de México recibe alimento dos veces al día, por lo que se puede deducir, que son alimentados con base rastrojo de maíz y concentrados, y están más expuestos a sufrir periodos de tiempo de 6 hrs sin presencia de alimento, contra los equinos alimentados con base de forraje el cual puede permanecer durante más tiempo disponible en el comedero.

La saliva tiene un efecto amortiguador debido a su composición (es decir, principalmente potasio, cloruro y bicarbonato) y, en consecuencia, puede afectar el pH del estómago. Sin suficiente producción de saliva para un efecto amortiguador, pueden ocurrir daños y lesiones en la mucosa gástrica. Sin embargo, considerando los casos de úlcera alimentados con 2 comidas por día, se puede suponer que el tiempo entre comidas es mayor a 6 horas. En un estudio endoscópico en caballos cuarto de milla realizado por los autores del presente trabajo se observaron grandes cantidades de larvas de *Gasterophilus equi*, lo cual contribuyó a la severidad de las lesiones en la mucosa gástrica, sobre todo en los equinos que viven en zonas muy húmedas, con mayor densidad de mosca. Otro resultado del mismo estudio endoscópico al que se hace referencia, los caballos explotados en zona árida y con pastoreo más frecuente, fue casi nula la presencia de larvas.

En el trabajo exclusivo del caballo cuarto de milla en dos regiones climáticas representativas de México se encontró que, si se marcan las diferencias con respecto a la alimentación, las actividades y algunas prácticas de manejo; por ejemplo, la frecuencia de aporte y tipo de alimentación ya sea estabulada o en pastoreo, por lo tanto, los factores ambientales juegan un papel importante en cuanto a detonar un tipo de riesgo para la ulceración gástrica. Para el caso de los caballos cuarto de milla en localidades áridas, la presentación de daño en la mucosa gástrica se relaciona con la calidad del alimento que se les ofrece, así como un factor que se asocia es una alta cantidad de paja en la dieta como única fuente. Por lo tanto, la calidad de alimentación contribuye de alguna manera a elevar la probabilidad de lesiones ulcerativas, por lo tanto, es de entenderse lo que al respecto se da en las zonas áridas.

Otra variable importante que se debe considerar en el caballo cuarto de milla y que contribuye al desarrollo de daños en la mucosa gástrica es la actividad mayor que desempeñan. En el estudio referido sobre esta raza, en una muestra de 66 caballos; el 50% del total de hembras y el 62% del total de machos, y de estos el 70 % de ellos castrados, son destinados al deporte tipo charrería y carreteras de carril. Del global de equinos de la muestra mencionada, hay una mayor dedicación a estas actividades deportivas de la charrería y carreras en la zona con mayor humedad, pues con cierta lógica, hay mayor disponibilidad de alimento para mantenerlos en una mejor condición.



Sin embargo, propio de las áreas húmedas; mayor actividad deportiva, mayor disponibilidad de granos, mayor tiempo en estabulación y más la presencia de larvas, lo que arroja como consecuencia una mayor prevalencia de úlcera gástrica en equinos en esas condiciones. Lo contrario sucede en zonas áridas, con menor disponibilidad de granos y forrajes, menor condición corporal, más común encontrarlos en pastoreo abierto y con una actividad mayormente dedicada al trabajo que a la charrería y carreras. Una parte clave para explicar esto es; el ejercicio y el ambiente gástrico ácido se asocian y generan presión intrabdominal y ocasionan lo que se llama el salpicado de líquido desde la parte ventral del estómago hacia la porción escamosa del mismo, con las consecuencias aquí descritas por efecto de un pH ácido, pues los mecanismos de protección de esa área gástrica son muy limitados. Si bien los cambios en la dieta además de la medicación terapéutica son importantes en el manejo de este síndrome SUGE, la mala nutrición (alimentos de menor calidad y/o formulación de raciones inadecuadas) también puede ser uno de los factores desencadenantes. Más específicamente, factores nutricionales como la alimentación intermitente, paja de alfalfa, alto consumo de azúcares y almidón que contienen los granos, altas cantidades de paja en la dieta y tiempo prolongado sin acceso a forraje, se han asociado con una alta predisposición a padecer e síndrome ulcerativo. La presente revisión proporciona datos interesantes sobre los daños estructurales de la mucosa gástrica tratando de hacer énfasis en los equinos cuarto de milla que son criados en condiciones geográficas y climáticas diferentes en México.

Referencias

- Andrews, F. M., Buchanan, B. R., Smith, S. H., Elliott, S. B. and Saxton, A. M. (2006). In vitro effects of hydrochloric acid and various concentrations of acetic, propionic, butyric, or valeric acids on bioelectric properties of equine gastric squamous mucosa. *American Journal of Veterinary Research*, 67, 1873-1882. doi.org/10.2460/ajvr.67.11.1873
- Banse, H. E., Andrews, F. M. (2019). Enfermedad gástrica glandular equina: prevalencia, impacto y estrategias de manejo. *Veterinary Medicine Research and Reports*, 10: 69-76. doi..org/10.2147/VMRR.S174427
- Bell, R. J. W., Kingston, J. K., Mogg, T. D. (2007a). A comparison of two scoring systems for endoscopic grading of gastric ulceration in horses. *New Zealand Veterinary Journal*, 55 (1), 19-22. doi.org/10.1080/00480169.2007.36730
- Chameroy, K., Nadeau, J., Bushmich, S., Dinger, J., Hoagland, T., Saxton, A. (2006). Prevalence of non-glandular gastric ulcers in horses involved in a University Riding program. *Journal of Equine Veterinary Science - J EQUINE VET SCI*, 26, 207-211. doi.org/10.1016/j.jevs.2006.03.001



- Fedtke, A., Pfaff, M., Volquardsen, J., Venner, M., Vervuert, I. (2015). Effects of feeding different roughage-based diets on gastric mucosa after weaning in warmblood foals. *Pferdeheilkunde Equine Medicine*, 31, 596-602. doi.org/doi:10.21836/PEM20150607
- Hammond, C. J., Mason, D. K., Watkins, K. L. (1986). Gastric ulceration in mature Thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal*, 18 (4), 284-287. doi.org/doi: 10.1111/j.2042-3306.1986.tb03629.x
- Holbrook, T. C., Simmons, R. D., Payton, M. E., Macallister, C. G. (2005). Effect of repeated oral administration of hypertonic electrolyte solution on equine gastric mucosa. *Equine Veterinary Journal*, 37 6, 501-504. doi: doi.org/10.2746/042516405775314880
- Husted, L., Sanchez, L., Olsen, S., Baptiste, K., Merritt, A. (2008). Effect of paddock vs. stall housing on 24 hour gastric pH within the proximal and ventral equine stomach. *Equine Veterinary Journal*, 40, 337-341. doi.org/doi: 10.2746/042516408X284673
- Julliand, V., Grimm, P. (2016). Horse species symposium: The microbiome of the horse hindgut: History and current knowledge. *Journal of Animal Science*, 94, 2262-2274. doi.org/doi: 10.2527/jas2015-0198
- Lorenzo-Figueras, M., Merritt, A. (2002). Effect of exercise on gastric volume and pH in the proximal portion of the stomach of horses. *American Journal of Veterinary Research*, 63, 1481-1487. doi.org/doi: 10.2460/ajvr.2002.63.1481
- Luthersson, N., Hou Nielsen, K., Harris, P., Parkin, T. D. H. (2009). Risk factors associated with equine gastric ulceration syndrome (EGUS) in 201 horses in Denmark. *Equine Veterinary Journal*, 41 (7), 625-630. doi.org/10.2746/042516409X441929
- Luthersson, N., Nielsen, K. H., Harris, P., Parkin, T. D. H. (2009). The prevalence and anatomical distribution of equine gastric ulceration syndrome (EGUS) in 201 horses in Denmark. *Equine Veterinary Journal*, 41 (7), 619-624. doi.org/doi: 10.2746/042516409x441910
- Murray, M., Schusser, G. (1993). Measurement of 24-h gastric pH using an indwelling pH electrode in horses unfed, fed and treated with ranitidine. *Equine Veterinary Journal*, 25 (5), 417-421. doi.org/10.1111/j.2042-3306.1993.tb02983.x



- Murray, M. J. (1999). Pathophysiology of peptic disorders in foals and horses: a review. *Equine Veterinary Journal*, 31 (S29), 14-18. doi.org/doi:10.1111/j.2042-3306.1999.tb05162.x
- Nadeau, J. A., Andrews, F. M., Patton, C. S., Argenzio, R. A., Mathew, A. G., Saxton, A. M. (2003a). Effects of hydrochloric, acetic, butyric, and propionic acids on pathogenesis of ulcers in the nonglandular portion of the stomach of horses. *American Journal of Veterinary Research*, 64, 404-412. doi.org/10.2460/ajvr.2003.64.404
- Sykes, B. W., Hewetson, M., Hepburn, R. J., Luthersson, N., Tamzali, Y. (2015). European college of equine internal medicine consensus statement--equine gastric ulcer syndrome in adult horses. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 29 (5), 1288-1299. doi.org/doi: 10.1111/jvim.13578
- Suluaga, M., Ramírez, N. F., Martínez, J. R. (2018), Equine gastric ulcerative syndrome in Antioquia (Colombia): Frequency and risk factors. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. [online]. 31 (2): 139-149.- doi.org/10.17533/udea.rccp.v31n2a07
- Taharaguchi, S., Okai, K., Orita, Y., Kuwano, M., Ueno, T., Taniyama, H. (2004). Relation between Amounts of Concentrated Feed Given Mares and Gastric Ulcers in Foals. *Journal of the Japan Veterinary Medical Association*, 57, 366-370. doi.org/doi:10.12935/jvma1951.57.366
- Vondran, S., Venner, M., Vervuert, I. (2016). Effects of two alfalfa preparations with different particle sizes on the gastric mucosa in weanlings: Alfalfa chaff versus alfalfa pellets. *BMC Veterinary Research*, 12, 2-8. doi.org/doi: 10.1186/s12917-016-0733-5
- Vokes, J.; Lovett, A., Sykes, B. (2023). Equine gastric ulcer syndrome: an update on current knowledge. *Animals*. 13, 1261. doi.org/10.3390/ani13071261
- Zavoshti, F. R., Andrews, F. M. (2017). Therapeutics for equine gastric ulcer syndrome. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 33 (1), 141-162. doi.org/10.1016/j.cveq.2016.11.004



Versión Electrónica
Análisis de Investigaciones Agroforestales, Veterinarias y en Estadística

se terminó de editar
en noviembre de 2023
en los talleres gráficos
de Amate Editorial, S.A. de C. V.
Madero 616, Colonia Centro
Guadalajara, Jalisco
Tel-fax: 36120751
36120068

amateeditorial@gmail.com
www.amateeditorial.com.mx

Análisis de Investigaciones Agroforestales, Veterinarias y en Estadística

Fidel Avila Ramos

Sergio Martínez González

Editores



En la actualidad, la publicación de artículos científicos a nivel mundial supera tres millones anualmente, a través de ellos, se dan a conocer los resultados de las investigaciones de una manera clara y precisa en un área puntual del conocimiento o se difunden métodos experimentales modernos. Para lograrlo es necesario conocer la problemática expuesta que en los antecedentes de las publicaciones es limitada. Por lo tanto, es necesario fortalecer el conocimiento y los organizadores del V Congreso Internacional Abanico Veterinario, Agroforestal, Pesquero y Acuícola 2023 se han dado a la tarea de realizar un libro de revisión y análisis de las investigaciones presentadas. Estos capítulos del libro abordan la problemática a la que se enfrentan los investigadores y se realiza una proyección general del tema con

una propuesta contenida en material resumido, específico, inédito y en el idioma español que podrá apoyar a las nuevas generaciones de investigadores jóvenes y experimentados en el área.

