



**ABANICO VETERINARIO Vol. 15 ENERO-DICIEMBRE 2024 ISSN 2448-6132**



**ABANICO  
VETERINARIO®**  
Incluye animales acuáticos



Indizada en Index de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología – CONACYT, Journal Citation Reports, Emerging Sources Citation Index, Scielo Citation Index, Scielo, CAB Abstract, IMBIOMED, MEDIGRAPHIC, DIALNET, BIBLAT, REDIB, Index Copernicus, EBSCO- Fuente Académica Plus, CENGAGE-*Informe académico*, ContentEngine LLC, PERIODICA, LATINDEX, MIAR, SIIC DATA BASES, SCILIT, I2OR, Rootindexing, Scholar Google, Conricyt-CONACYT, Actualidad Iberoamericana, JournalTOCs, CROSSREF, Open Aire, BASE, PlumX Metrics, Paperity.

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/index>



**ABANICO VETERINARIO** (Abanico Vet.) es una revista internacional arbitrada e indexada que publica información científica y tecnológica de las ciencias de los animales. Su objetivo es publicar artículos de investigaciones, notas de investigación, desarrollos tecnológicos, casos clínicos, estudios de caso, políticas de educación y revisiones de literatura realizados en México y en cualquier parte del mundo. Todos relacionados con las ciencias de salud animal, salud pública veterinaria, ambiental, industrialización y de producción animal incluyendo animales acuáticos. Dirigida a profesores, estudiantes, profesionistas, investigadores y empresarios interesados en la pesca, acuicultura, medicina veterinaria y la producción animal. Publicación continua bajo el sistema de ciencia abierta en acceso, arbitraje y se invita a los autores a poner disponible los datos originales. Presente en index, repositorios y directorios para una mayor visibilidad e incremento de citas; cuenta ISSN para formato impreso 2007-428X, para formato internet web 2448-6132 y DOI 10.21929/abavet, con página web <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/index>. Tiempo de recibido y aceptado entre seis y doce meses. Por ser una revista de acceso abierto los autores pagarán la cuota vigente para gastos contables, arbitraje, edición, publicación, difusión, traducción al inglés, portugués o al español, DOI, marcación, XML-JATS, revisión de plagio y pagos fiscales.

La revista es editada y publicada por Abanico Académico, editorial registrada en el Indautor de México. En el RIZOMA aparece como institución Pública-Federal. La editorial pertenece a una Persona Física: Sergio Martínez González, con RFC MAGS690517979. Valle Bravo 16, Colonia Valle Dorado. CP. 63180. Tepic, Nayarit, México. CVU: 120948. Número de Registro de Personas Físicas con Actividad Empresarial en la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México: 1802044.

## CINTILLO LEGAL

Abanico Veterinario, Año 14, Volumen 15, Enero-Diciembre 2024, Publicación continua, editada por Sergio Martínez González, Calle Tezontle 171, Colonia El Pedregal, Tepic, Nayarit, México, C.P. 63164, Tel 01 311 1221626, [abanicoveterinario@gmail.com](mailto:abanicoveterinario@gmail.com). Editor responsable: Sergio Martínez González. Cuenta para formato web ISSN 2448-6132 y reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-061914102900-203 respectivamente, gestionados en el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Sergio A Martínez Orozco, Mina 262, Col. Centro, Tepic, Nayarit, México, C.P. 63000, fecha de la última modificación, 14-12-2024.



## Abanico Veterinario, Año 14, Volumen 15, Enero-Diciembre 2024

### Contenido

#### Artículos de Investigación

- El SARS-Cov-2 en perros y gatos domiciliados en México e2021-61
- Comportamiento productivo, integridad intestinal y respuesta inmune en pollos alimentados con dietas suplementadas con L-glutamina e2022-37
- Fermentación y digestibilidad ruminal in vitro de ensilados de *Sorghum bicolor* y *Cajanus cajan* e2022-56
- Efecto estacional de la calidad del calostro y el peso de la cría en la transferencia de inmunidad pasiva en becerros bovinos e2020-83
- Estimación de metano en corderos bajo condiciones de estiaje con dieta de mantenimiento y probióticos e2023-22
- Coinfección con *Chlamydia abortus* y *Coxiella burnetii* en vacas, cabras y borregas que presentaron aborto e2023-107
- Efecto del ajo en polvo (*Allium sativum*) sobre el rendimiento de crecimiento, composición bioquímica, utilización de nutrientes, y supervivencia de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) e2023-23
- Crecimiento y sobrevivencia de *Chirostoma jordani* en el Sitio Ramsar 1986-Atlangatepec, Tlaxcala, México e2023-39
- Bentonita en vacas lecheras de sistemas semiintensivos en zona de montaña e2023-21
- Efecto de la oxitetraciclina sobre la nitrificación en sistemas acuapónicos e2023-47
- Frecuencia genotípica de la mutación C313Y del gen GDF8 en ganado Piemontese en México e2024-13

#### Revisiones de Literatura

- Aceites esenciales y sus constituyentes para hacer frente a las bacterias patógenas e2023-36
- Biofloc en el tratamiento de aguas residuales del cultivo de peces e2022-13

#### Notas de investigación

- Plaguicidas detectados en suelo de colonias de *Cynomys mexicanus* en San Luis Potosí y Zacatecas, México e2023-16



Comparación del uso del refractómetro Brix y calostrometro para estimar la calidad del calostro en vacas lecheras e2021-82

Tasa de concepción en vacas lecheras inseminadas a celo detectado o a tiempo fijo e2023-2

Reproducción de microorganismos de montaña para uso en agua de bebida en sector pecuario e2022-80

### **Estudios de Caso**

Caracterización molecular y serológica de *Anaplasma marginale* en la región transfronteriza noreste de México e2022-71

Primer reporte de crustáceo decápodo *Procambarus llamasii* en la región de la montaña de Xmaben Hopelchén, Campeche e2024-20



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-17. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.4>  
Artículo Original. Recibido: 06/09/2021. Aceptado:27/01/2023. Publicado: 05/05/2024. Clave: e2021-61  
<https://www.youtube.com/watch?v=OB69YmE1vJk>

## EL SARS-Cov-2 en perros y gatos domiciliados en México

SARS-CoV-2 in domiciliated dogs and cats in Mexico

López-Flores Evelyn <sup>\*1ID</sup>, Guzmán-Ruiz Claudia <sup>2ID</sup>, Pérez-Rivero  
Juan <sup>3ID</sup>, Alanis-Gallardo Valeria <sup>1ID</sup>, Arvizu-Tovar Laura <sup>1ID</sup>,  
Soberanis-Ramos Orbelin <sup>\*\*1ID</sup>



<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, México. <sup>2</sup>Universidad de Guanajuato, Departamento de Veterinaria y Zootecnia, División Ciencias de la Vida, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal. México. \*Autor responsable: López-Flores Evelyn. \*\*Autor de correspondencia: Soberanis-Ramos Orbelin, Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, México. E-mail: evelyn.alflores@gmail.com, guzmanr@ugto.mx, jperezr@correo.xoc.uam.mx, vag@fmvz.unam.mx, larvizu9@yahoo.com.mx, orbelin@unam.mx

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar los potenciales factores de interés en la salud de perros y gatos domiciliados en México frente a la pandemia de COVID-19. Los datos se obtuvieron del sitio web de la Organización Mundial de Salud Animal (OIE) y posteriormente se realizó un estudio transversal de percepción para personas que contaran con al menos un perro o un gato en su domicilio. Resultados: de agosto del 2020 a marzo del 2021 en México, la totalidad de casos reportados de COVID-19 en animales, se atribuyen a perros, donde el 55% se concentran en la Ciudad de México. El estudio epidemiológico mostró la percepción que tienen los propietarios al indicar si consideran que su mascota puede enfermar de COVID-19 estando expuestos a una persona infectada. Las adversidades que ha traído la pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto la importancia que tiene la epidemiología de las zoonosis en el mundo y ha reforzado en la población la educación de las medidas higiénicas y preventivas básicas que se han adoptado en los últimos meses.

**Palabras clave:** zoonosis, México, virus, salud pública, COVID-19.

### ABSTRACT

The objective of this study was to determine the potential factors of interest in the health of domiciliated cats and in Mexico in the face of the COVID-19 pandemic. The data were obtained from the website of the World Organisation for Animal Health (OIE) and subsequently a perception transversal study was carried out for people who had at least one dog or one cat in their home. From August 2020 to March 2021 in Mexico, all reported cases of COVID-19 in animals are attributed to dogs, where 55% are concentrated in Mexico City. The epidemiological study showed the perception that owners have when indicating if they believe that their pet can become ill with COVID-19 being exposed to an infected person. The adversities that the COVID-19 pandemic has shown the importance of the epidemiology of zoonoses in the world and has reinforced the education of the population on basic hygienic and preventive measures that have been adopted in the last months.

**Keywords:** zoonoses, Mexico, viruses, public health, COVID-19.



## INTRODUCCIÓN

Las mascotas más frecuentes en los hogares y que conviven estrechamente con los seres humanos son los perros (*Canis lupus familiaris*) (Luzio *et al.*, 2015) y los gatos (*Felis catus*) (Loss & Marra, 2017). La domesticación de los primeros data de al menos 15,000 años (Von Kossel *et al.*, 2018), mientras los segundos fueron domesticados hace más de 10,000 años (Loss & Marra, 2017).

La interacción entre el hombre y estos animales se asocia a bastos beneficios y riesgos para la salud humana; dentro de estos encontramos la prevención de enfermedades, contribución a la recuperación de padecimientos cardiovasculares, mitigadores de eventos estresantes, entre otros. Por otro lado, dentro de los aspectos negativos de esta convivencia se encuentran las enfermedades zoonóticas, donde los perros y gatos cumplen un papel importante en la transmisión de patógenos como parásitos, virus, bacterias y hongos, además de mordeduras y la contaminación ambiental por heces caninas y felinas principalmente. Lo que hace considerar la necesidad de identificar las zoonosis que comparten con los humanos con quienes conviven (Silva *et al.*, 2014, Garibotti *et al.*, 2017).

En esta era de globalización, los patógenos se movilizan a través de la 5T (por sus siglas en inglés: Trade - comercio, Travel - viajes, Transport - transporte, Tourism - turismo y Terrorism - terrorismo) dando pauta al ingreso de enfermedades transfronterizas de los animales (ENTRAS) dentro de un territorio (Jaramillo *et al.*, 2017); esto favorece el incremento de los factores de riesgo que pueden facilitar la aparición de zoonosis, donde la interacción del humano con los animales juega una pieza clave dentro de la macro y microepidemiología de las zoonosis tanto emergentes, como reemergentes. Dentro de las probabilidades de ocurrencia de zoonosis se encuentran a los cambios demográficos, medio ambientales, el clima, la tecnología, el uso del suelo y el comportamiento humano. Los recientes movimientos sin precedentes de personas, sus animales y sus enfermedades en todo el mundo introducen y mezclan genes, preferencias culturales, costumbres y patrones de comportamiento (Macpherson, 2005).

Esta dinámica constante y cotidiana puede representar una amenaza para la salud pública. Desafortunadamente, los recursos para abordar los problemas de salud en perros y gatos no están en la lista de prioridades de las autoridades veterinarias y de salud pública. Por lo tanto, estos animales representan un importante reservorio de enfermedades zoonóticas (Otranto *et al.*, 2017).

Actualmente en México, el Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE) de la Secretaría de Salud (SSA) tiene como prioridades de acción enfermedades zoonóticas que involucran a los perros, como la rabia, la brucelosis, la leptospirosis y la rickettsiosis. La enfermedad zoonótica prioritaria transmitida por perros y gatos al humano es la rabia, la cual se encuentra regulada por la



Norma Oficial Mexicana NOM-011-SSA2-2011 Para la prevención y control de la rabia humana y en los perros y gatos ([SSA, 2011](#)).

Por otra parte, la reciente antropozoonosis emergente ocasionada a finales de 2019 por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19), originada en Wuhan (provincia de Hubei, China), dio un giro al mundo y se convirtió en la pandemia que representa el principal desafío sanitario, económico y humanitario del siglo XXI ([Salajegheh et al, 2020](#)).

La mayoría de las naciones adoptaron un "bloqueo" parcial o total e impusieron un "distanciamiento social" para controlar la rápida transmisión de COVID-19 y sus consecuencias ([Bar, 2020](#)).

Se ha identificado que la transmisión del SARS-CoV-2 de humanos a animales es factible. En el mundo, COVID-19 ha sido detectada como una zoonosis debido a que han reportado casos de enfermedad en animales (tigres, gatos, perros, gorilas, visones de criadero, entre otros mamíferos ([CDC, 2021](#))) que han estado en contacto con personas infectadas. El primer caso reportado en el mundo de la transmisión de una persona a un animal (Loulou, canino Pomerania de 17 años, asintomático) ocurrió en Hong Kong en marzo del 2020 ([Salajegheh et al, 2020](#); [Sit et al., 2020](#)).

En gatos, el primer caso reportado en el mundo ocurrió en Bélgica en marzo del 2020 (felino, hembra doméstica de pelo corto de aproximadamente 15 años de edad que mostró signos como letargia, anorexia, vómito, diarrea, estornudos, emaciación, dificultad respiratoria y tos severa y productiva) ([Garigliany et al, 2020](#)).

Las principales preocupaciones acerca de la zoonosis inversa o zoonosis (transmisión del humano a animales) son que los animales infectados pueden enfermarse e incluso morir y que la población de animales en cuestión puede convertirse en un reservorio de virus y permite también la recombinación genética, a partir del cual puede tener lugar la reintroducción en humanos, por lo que se debe tener presente la posibilidad de que las mascotas participen en la dinámica de propagación del virus ([Na & Kuiken, 2021](#)).

Los mecanismos de transmisión del SARS-CoV-2 de humanos a perros y gatos no están completamente identificados. La puerta de salida del agente del organismo humano ocurre principalmente a través de gotitas respiratorias emitidas al toser, estornudar, hablar o respirar. El virus puede permanecer en superficies e infectar al hospedero susceptible cuando se contaminan las manos con ellas y se llevan a la boca, la conjuntiva ocular o al tocarse la nariz. Dentro de los factores de riesgo de la transmisión entre personas enfermas y sus mascotas se encuentra la habitación común, lamer, abrazar, acariciar y besar ([Leroy et al., 2020](#); [Salajegheh et al, 2020](#)).

En materia de salud animal, en abril del 2020 el gobierno mexicano a través del Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) exhortó a los Médicos Veterinarios Zootecnistas a realizar la notificación al detectar posibles casos de COVID-19 en animales. Gracias a estos esfuerzos, se han realizado diversas



notificaciones por parte del gremio veterinario, detectando casos sospechosos en perros, gatos, un cuyo y un tigre (OIE, 2020).

El caso índice ocurrió en un canino doméstico de la alcaldía Cuauhtémoc de la Ciudad de México en agosto del 2020, posterior a éste se han presentado nueve casos más en animales, todos ellos se han presentado en caninos domésticos. Los signos clínicos reportados fueron: secreción nasal, tos, fiebre, anorexia, depresión, reflejo tusígeno positivo, sonidos pulmonares anormales, faringitis, bronquitis, linfadenomegalia, palmopercusión positiva, dificultad respiratoria, estertores, polipnea, taquicardia, sin haberse reportado a la fecha casos de enfermedad grave (OIE, 2020; OIE, 2021<sup>a,b,c</sup>).

Las muestras tomadas fueron hisopos traqueales y/o nasales y/u orofaríngeos; la prueba diagnóstica que se realizó para la confirmación fue la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa con transcripción reversa (RT-PCR). En una ocasión se logró el aislamiento del agente en una de las muestras y la secuenciación mostró que no existe ningún tipo de mutación. Todos los caninos que presentaron la enfermedad tuvieron en común contacto con personas infectadas por SARS-CoV-2. Las medidas implementadas fueron la cuarentena y desinfección, así como aislamiento con las mascotas, para protegerlas de un posible contagio (OIE, 2020; OIE, 2021<sup>a,b,c</sup>).

El objetivo de este estudio fue determinar los potenciales factores de interés en la salud de perros y gatos domiciliados en México frente a la pandemia de COVID-19.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se analizaron los reportes de casos confirmados por SARS-CoV-2 en animales en México del año 2020 a junio del 2021 a partir de datos obtenidos del Sistema Mundial de Información Zoonosaria de la Organización Mundial de Sanidad Animal (WAHIS-OIE).

De mayo a junio del 2021 se realizó un estudio observacional de tipo transversal, donde se diseñó una encuesta electrónica usando Google Forms (<http://www.google.com/forms/about/>), la cual fue enviada a través de redes sociales; se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia a 1009 personas, cuyos criterios de inclusión se consideraron, personas mayores de 18 años de edad, que radicaran en la República Mexicana y que tuvieran por lo menos un perro o gato en su domicilio. Se integró la información en una base de datos Excel® para el análisis descriptivo de los propietarios: edad, sexo, último nivel de estudios, estado y municipio en donde habita. Además, la información referente a la mascota con la que cuenta en su domicilio (perro y/o gato). La encuesta se centró en la percepción de las personas, dentro de ésta se consideraron ítems que hacen referencia a cuidados y atención médica en sus mascotas, otro aspecto que se exploró fue si en su domicilio existieron casos de COVID-19 en personas, incluyendo el contacto que tuvieron con las mascotas y si éstas presentaron algún signo sugerente a dicha enfermedad. En este estudio se utilizó estadística descriptiva, Chi-cuadrado y regresión logística, donde las variables dependientes fueron



consideradas: “¿Cree que las personas enfermas de COVID-19 pueden contagiar a perros y/o gatos?” y “¿Usted llegó a pensar que su mascota (perro o gato respectivamente) estuviera enferma de COVID-19?”, los valores fueron analizados utilizando STATA 14.

## RESULTADOS

### Caracterización de casos reportados en México

La totalidad de casos reportados como positivos a SARS-Cov-2 en México afectaron únicamente a perros domiciliados. Hubo 18 animales sospechosos donde el 100 % de estos fueron perros, de los cuales se presentaron 10 casos confirmados de COVID-19 (Cuadro 1). Los reportes indican que un animal murió debido a que también cursaba un cuadro compatible con distemper canino. El 55 % (5) de los reportes competen a notificaciones realizadas en Ciudad de México, el 22.5 % (2) pertenecieron al Estado de México, mientras que el 22.5 % restante fueron de Puebla (1 reporte) y Jalisco (1 reporte), es decir, el 77.5 % de los casos se presentaron en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, siendo las alcaldías de la Ciudad de México afectadas son Cuauhtémoc, Iztacalco, Iztapalapa, Benito Juárez y Azcapotzalco. Los municipios del Estado de México afectados fueron Cuautitlán Izcalli y Toluca.

**Cuadro 1. Concentrado de casos de COVID-19 en perros en México, agosto 2020 a marzo 2021**

Inicio de foco	Estado	Municipio	Animales sospechosos	Casos confirmados	Muertos
14/08/2020	Ciudad de México	Cuauhtémoc	1	1	0
14/08/2020	Ciudad de México	Iztacalco	1	1	0
13/11/2020	Estado de México	Cuautitlán	1	1	1
23/11/2020	Ciudad de México	Iztapalapa	4	2	0
24/12/2020	Ciudad de México	Benito Juárez	1	1	0
13/01/2021	Estado de México	Toluca	7	1	0
01/03/2021	Puebla	Teziutlán	1	1	0
02/03/2021	Jalisco	Guadalajara	1	1	0
04/03/2021	Ciudad de México	Azcapotzalco	1	1	0
		<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>1</b>

(OIE, 2020; OIE, 2021<sup>a,b,c</sup>).

### Resultados de estudio transversal

Se obtuvieron 1017 respuestas totales en el formulario realizado de mayo a junio del 2021, donde el 99.21% (IC95%: 98.67 - 99.75) que corresponden a 1009 personas aceptaron participar (no participación= <1%, equivalentes a 8 respuestas de las totales). De acuerdo con las características de la población de estudio, el 29.44% (IC95%: 26.63 – 32.25) fueron hombres, 69.67% (IC95%: 66.83 – 72.51) mujeres, 0.89% (IC95%: 0.31 – 1.47) prefirió no contestar. La edad de esta población fue de los 18 a los 80 años con una media de 33.64 y una DS de 12.55.

El 42.32% (IC95%: 39.27 – 45.37) de la población participante pertenece a la Ciudad de México, el 28.74% (IC95%: 25.62 – 31.18) al Estado de México y el 28.94% (IC95%: 26.14 – 31.74) a otros estados de la República Mexicana, donde la mayor



representatividad la tuvo el estado de Guanajuato con el 28.33% (IC95%: 23.16 – 33.50) de respuestas y Nuevo León con 9.67% (IC95%: 6.28 – 13.06). Con relación al máximo nivel de estudios alcanzado, el 22% (IC95%: 19.44 – 24.56) cursó posgrado, el 56.1% (IC95%: 53.04 – 59.16) licenciatura, el 20.22% bachillerato (IC95%: 17.74 – 22.07) y el 1.68% secundaria (IC95%: 0.89 – 2.47).

De las personas que cursaron como último nivel de estudios posgrado (28.57%, IC95%: 22.36 – 34.78), licenciatura (35.64%, IC95%: 31.64, 39.64), bachillerato (41.08%, IC95%: 33.99 – 48.17) y secundaria (30.77%, IC95%: 5.68 – 55.86) presentaron al menos un caso de COVID-19 en su domicilio.

De las encuestas recabadas, el 5.75% (IC95%: 4.31 – 7.19) no contó con ninguna mascota, mientras que el 57.38% (IC95%: 54.33 – 60.43) tienen al menos un perro, el 12.59% (IC95%: 10.54 – 14.64) tienen al menos un gato y el 24.28% (IC95%: 21.63 – 26.93) cuenta con al menos un perro y un gato.

### **Descripción de ítems de percepción y características de las mascotas**

De las personas que decidieron participar, el 50.64% (IC95%: 47.56 – 53.72, 511 personas) indicó que no creían que las personas enfermas de COVID-19 pueden contagiar a los perros o gatos, el 22.1% (IC95%: 19.54 – 24.66, 223 personas) piensan que las personas enfermas pueden contagiar a los perros o gatos, mientras que el resto (27.25%, IC95%: 24.5 - 30) no están seguros.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 73.12% (IC95%: 68.61 – 77.63) de los gatos y el 57.28% (IC95%: 53.90 – 60.66) de los perros pasan la mayor parte del tiempo durante el día dentro de su casa, mientras la menor cantidad habitan en el patio, en el jardín, en la azotea y en la calle. Por otra parte, estos animales duermen dentro de casa (84.95% gatos (IC95%: 81.32 – 88.58) y 65.05% perros (IC95%: 61.79 – 68.31)), el resto duermen en el patio, en el jardín, en la azotea y en la calle.

De las personas que tienen al menos un perro o un gato en su casa, el 35.12% (IC95%: 32.09 – 38.15) refiere haber tenido algún caso de COVID-19 dentro su domicilio pudiendo ser la persona encuestada o un familiar, mientras que el resto (64.88%, IC95%: 61.85 – 67.91) no había tenido casos de la enfermedad en su domicilio.

Los propietarios notaron que los animales que tuvieron contacto con el virus Sars-Cov-2 dentro de su domicilio presentaron los siguientes signos clínicos:

Perros: con más frecuencia se presentó depresión (35.24%, IC.95%: 26.10 – 44.38), pérdida del apetito (anorexia) (22.86%, IC.95%: 14.83 – 30.89), estornudos (13.33%, IC.95%: 6.83 – 19.83), escurrimiento nasal (11.43%, IC.95%: 5.34 – 17.52), mientras que los menos frecuentes fueron tos, vómito, diarrea, fiebre, dificultad respiratoria (disnea), pérdida del olfato (anosmia), secreción ocular, ansiedad y dolor corporal.

Gatos: con más frecuencia se presentó estornudo (30.91%, IC.95%: 18.70 – 43.12), depresión (18.18%, IC.95%: 7.99 – 28.37), escurrimiento nasal (14.55%, IC.95%: 5.23 – 23.87), pérdida del apetito (anorexia) (14.55%, IC.95%: 5.23 – 23.87), mientras que los



menos frecuentes fueron tos, vómito, diarrea, fiebre, dificultad respiratoria (disnea), pérdida del olfato (anosmia) y secreción ocular.

De los 408 perros y gatos expuestos a alguna persona enferma de COVID-19 en su domicilio, el 20.09% (IC95%: 16.20 – 23.98) presentó al menos un signo clínico de los antes mencionados, de estos el 36.58% (IC95%: 31.91 – 41.25) indican que acudieron a consulta con el médico veterinario zootecnista para revisar a su perro o gato.

Del total de caninos expuestos a COVID-19 en sus domicilios y que presentaron al menos un signo clínico, el 37.03% (IC95%: 24.15 – 49.91) de los propietarios pensaron que su perro estaba enfermo, en contraste, del total de felinos expuestos en su domicilio a la enfermedad y que presentaron por lo menos un signo clínico el 60.71% (IC95%: 42.62 – 78.80) de los propietarios pensaron que su gato había enfermado.

En ambas especies la frecuencia de presentar al menos un signo clínico aumentó en los machos, de los caninos expuestos a la enfermedad en su domicilio, el 16.55% (IC95%: 10.50 – 22.60) de las hembras y el 20.68% (IC95%: 14.09 – 27.27) de los machos presentaron por lo menos un signo clínico de enfermedad, en el caso de los felinos, el 20.59% (IC95%: 10.98 – 30.20) de las hembras y el 28% (IC95%: 4.38 – 23.62) de los machos presentaron signos de enfermedad.

Las edades que presentaron al menos un signo clínico con más frecuencia en perros fueron aquellos que tienen 3 (12.96%, IC95%: 4.00 – 21.92) y 5 (12.96%, IC95%: 4.00 – 21.92) años, mientras que, en gatos, aquellos que tienen 3 (17.86%, IC95%: 3.67 – 32.05) y 10 (14.29%, IC95%: 1.33 – 27.25) años.

Con relación a las razas de caninos que presentaron signología clínica con más frecuencia fueron perros mestizos (38.89%, IC95%: 25.89 – 51.89), schnauzer (14.81%, IC95%: 5.34 – 24.28) y chihuahueño (7.41%, IC95%: 0.42 – 14.40), con relación a las razas felinas, los felinos europeo doméstico presentaron mayor frecuencia (85.71%, IC95%: 72.75 – 98.67).

### **Análisis Bivariado**

Se llevó a cabo un análisis bivariado utilizando prueba de Chi-cuadrado para identificar aquellas características que impactan significativamente en la percepción del propietario ante indicar si piensa que su mascota enfermó de COVID-19 en el periodo en que hubo al menos un caso de COVID-19 en personas dentro de su domicilio. Se introdujeron variables relacionadas al contacto que tuvieron las personas infectadas y aquellas variables que indicaran plausibilidad biológica para la enfermedad causada por el SARS-CoV-2 (Cuadro 2, 3, 4 y 5).



**Cuadro 2. Determinantes de la percepción de enfermedad en perros (población que cuentan únicamente con perros) cuando hubo al menos un caso de COVID-19 en el domicilio (Dicotómica No/Si)**

Durante el periodo en que la o las personas enfermaron de COVID-19 en su domicilio, alguna de ellas:	n	Valor de p
Tosió cerca del perro -Variables: no, si, no sabe	211	0.001
Estornudó cerca del perro -Variables: no, si, no sabe	203	0.001
Respiró cerca del perro -Variables: no, si	196	0.048
Abrazó al perro -Variables: no, si	196	0.047
Besó al perro -Variables: no, si	198	0.036
Alimentó al perro -Variables: no, si	200	0.004
Proporcionó agua al perro -Variables: no, si	199	0.021
Durmió en la misma cama con el perro -Variables: no, si	202	0.013
Tuvo contacto con el perro tomando precauciones sanitarias -Variables: no, si, no sabe	202	0.025

Chi cuadrado

**Cuadro 3. Determinantes de la percepción de enfermedad en gatos (población que cuenta únicamente con gato) cuando hubo al menos un caso de COVID-19 en el domicilio (Dicotómica No/Si)**

Durante el periodo en que la o las personas enfermaron de COVID-19 en su domicilio, alguna de ellas:	n	Valor de p
Habló cerca del gato -Variables: no, si, no sabe	44	0.010
Compartió habitación con el gato -Variables: no, si	41	0.048
Abrazó al gato -Variables: no, si	42	0.038
Tuvo contacto estrecho con el gato -Variables: no, si, no sabe	44	0.014

Chi cuadrado

**Cuadro 4. Determinantes de la percepción de enfermedad en perros (población que cuenta con perro y gato) cuando hubo al menos un caso de COVID-19 en el domicilio (Dicotómica No/Si)**

Durante el periodo en que la o las personas enfermaron de COVID-19 en su domicilio, alguna de ellas:	n	Valor de p
Estornudó cerca del perro -Variables: no, si, no sabe	72	0.011
Abrazó al perro -Variables: no, si	69	0.006
Permitió que su perro lo lamiera -Variables: no, si, no sabe	72	0.043
Durmió en la misma cama con el perro -Variables: no, si	72	0.000

Chi cuadrado



**Cuadro 5. Determinantes de la percepción de enfermedad en gatos (población que cuenta con perro y gato) cuando hubo al menos un caso de COVID-19 en el domicilio (Dicotómica No/Si)**

Durante el periodo en que la o las personas enfermaron de COVID-19 en su domicilio, alguna de ellas:	n	Valor de p
Estornudó cerca del gato -Variables: no, si, no sabe	71	0.035
Acarició al gato -Variables: no, si	68	0.031
Abrazó al gato -Variables: no, si	68	0.013
Besó al gato -Variables: no, si	69	0.009
Permitió que el gato lo oliera -Variables: no, si	65	0.023
Permitió que el gato lo lamiera -Variables: no, si	66	0.029
Alimentó al gato -Variables: no, si	70	0.011
Le proporcionó agua a su gato -Variables: no, si	70	0.008
Durmió en la misma cama con el gato -Variables: no, si	70	0.014
Tuvo contacto estrecho con el gato -Variables: no, si	67	0.009
Tuvo contacto con el gato tomando precauciones sanitarias -Variables: no, si, no sabe	71	0.034

Chi cuadrado

Se llevó a cabo un análisis bivariado utilizando prueba de Chi-cuadrado y regresión logística para identificar aquellas características que impactan significativamente en la percepción del propietario ante indicar si piensa que las personas enfermas de COVID-19 pueden o no contagiar a los perros o gatos. Se introdujeron variables relacionadas a la tenencia de perros y/o gatos y la detección de algún signo clínico (respiratorio, digestivo, inespecífico y mixto) durante el periodo en que se presentó al menos un caso de la enfermedad dentro del domicilio del propietario. El cuadro 6 muestra los resultados de la regresión logística de aquellas variables que presentaron significancia estadística en la prueba de Chi-cuadrado.

De acuerdo con la percepción de las personas a la pregunta: ¿Cree que las personas enfermas de COVID-19 pueden contagiar a perros o gatos? versus ¿Con qué mascota cuenta? (perro, gato o ambos), se encontró significancia estadística, las personas que cuentan únicamente con perros tienen menos percepción de que su mascota pueda enfermar (OR crudo = 0.7843137, IC95%= 0.5354775 a 1.148784), en contraparte, las personas que contaron únicamente con gato tienen más percepción de que su gato pueda enfermar (OR= 1.578947, IC95%= 0.9374741 a 2.659353), comparado con aquellos que tienen perros y gatos.



**Cuadro 6. Determinantes de la percepción de los propietarios ante indicar si ellos creen o no que una persona infectada con el virus de SARS-CoV2 puede contagiar a perros o gatos (Dicotómica No/Si)**

	OR* crudo	p>  z	IC 95%	OR * ajustado**	p>  z	IC 95%
Mascota con la que cuenta						
-Var. ref. contar con perro y gato (ambos)	1			1		
-Perro	0.7843137	0.212	0.5354775 - 1.148784	.8042435	0.267	.5473633 - 1.181679
-Gato	1.578947	0.086	0.9374741 - 2.659353	1.609969	0.075	.9534951 - 2.718419
Signos clínicos en caninos						
-Var. Re. Ninguno	1			1		
-Respiratorio	4.540541	0.054	.9722814 - 21.20426	5.030729	0.042	1.059923 - 23.87742
-Digestivo	5.108108	0.080	.8224124 - 31.72711	3.5629	0.215	.4780683 - 26.55323
-Inespecífico	3.027027	0.033	1.091037 - 8.39833	3.491373	0.019	1.223831 - 9.96027
-Mixto	2.432432	0.148	.7291749 - 8.114277	2.097042	0.262	.5743845 - 7.656173
Signos clínicos en felinos						
-Var. Re. Ninguno	1			1		
-Respiratorio	6.12	0.004	1.778961 - 21.05408	6.263196	0.004	1.785926 - 21.96487
-Digestivo	6.8	0.128	.5760269 - 80.27403	7.077324	0.124	.5839927 - 85.76909

\*OR= Odds ratio

\*\*Ajustado a variable género (dicotómico)

Se operacionalizó la variable signos clínicos para perros y para gatos englobando los signos clínicos respiratorios (ej. Tos, estornudos), digestivos (ej. Vómito, diarrea), inespecíficos (ej. Depresión, anorexia) y mixtos (ej. Tos, vómito) para cada individuo que reportó algún signo clínico en su mascota versus la variable dependiente ¿Cree que las personas enfermas de COVID-19 pueden contagiar a perros o gatos?, se encontró significancia estadística para ambas y en el caso de los perros, las personas que creen que sus mascotas pueden enfermar en el periodo en que hubo al menos una persona enferma de COVID-19 pudieron detectar 4.5 más veces problemas respiratorios en sus mascotas (OR curdo= 4.540541, IC95% 0.9722814 a 21.20426), así como 5.1 más veces problemas de tipo digestivo (OR= 5.108108, IC95%= 0.8224124 a 31.72711), 3 veces más problemas de tipo inespecífico (OR crudo = 3.027027, IC95%= 1.091037 a 8.39833) y 2.4 más veces un problema mixto (OR= 2.432432, IC95%= .7291749 a 8.114277) que aquellos que no detectaron signos clínicos.

En el caso de los gatos, las personas que creen que sus mascotas pueden enfermar, en el periodo en que hubo al menos una persona enferma de COVID-19 pudieron detectar 6.12 veces más enfermedad de tipo respiratoria en sus gatos (OR crudo= 6.12, IC95%= 1.778961 a 21.05408) y 6.8 más veces problemas de tipo digestivo (OR crudo= 6.8, IC95%= .5760269 a 80.27403) que aquellos que no detectaron signos clínicos.



## DISCUSIÓN

La pandemia del SARS-Cov-2 ha traído consecuencias económicas, políticas y sociales. El gobierno de México adoptó medidas para sus pobladores por medio de la Jornada Nacional de Sana Distancia en donde se implementaron medidas como el confinamiento, cierre de comercios no esenciales, distanciamiento social, campañas de educación para la salud enfocadas al lavado de manos, medidas preventivas para evitar la transmisión e infección del virus, entre otras; con la finalidad de controlar la pandemia.

El caso índice de COVID-19 en humanos, registrado en México, fue el 27 de febrero del 2020 (Suárez *et al*, 2020) y el de animales el 14 de agosto del 2020 (OIE, 2020; OIE, 2021<sup>a,b,c</sup>). Las medidas sanitarias recomendadas por el gobierno mexicano con relación al COVID-19 y las mascotas se basó en aplicar las medidas de sana distancia con perros y gatos cuando alguna persona padeciera la enfermedad, así como realizar un lavado de manos con agua y jabón al tener contacto con ellas además de limpiar las extremidades torácicas y pélvicas después de realizar un paseo (SSA, 2021<sup>a,b</sup>). Nuestros resultados indican, que sumado a lo anterior, se sugiere evitar que alguna persona enferma esté en contacto con estos animales, para lo cual se sugiere pedir apoyo de algún familiar o conocido sano para que cuide de ellas en el periodo de convalecencia del enfermo, en caso de no ser posible esta opción, será necesario utilizar mascarilla facial durante el tiempo de interacción con el perro y/o gato, limitando el tiempo de convivencia lo máximo posible a solo realizar actividades esenciales como proporcionar agua, alimento y limpieza. De ninguna manera se recomienda tener contacto estrecho ni compartir habitación con ellas.

Los resultados de este estudio de exposición al Sars-Cov2 en perros y gatos ha permitido identificar los reportes de casos confirmados en perros, así como apreciar la percepción de los propietarios ante la posibilidad de que sus mascotas puedan contagiarse de la enfermedad y las medidas que han podido adoptar. En este estudio se visualizó la dosis respuesta ante la tenencia de COVID-19 en el domicilio y el máximo grado de estudios alcanzados, es decir, aquellos que contaron con posgrado tuvieron menos posibilidades de enfermar que aquellos que cursaron licenciatura y bachillerato, sin embargo, aquellos que indicaron el nivel máximo de secundaria, representaron un porcentaje <2% de la población de estudio, por lo que el hallazgo puede deberse al azar.

De manera experimental, diversas especies mamíferas como perros, ratones de campo, visones, cerdos, conejos y las musarañas han logrado infectarse de SARS-CoV-2; existen otras especies que además de lo anterior pueden transmitir el virus a otros animales de la misma especie, estos son: gatos, venados de cola blanca, murciélagos de la fruta, hámster, hurones, mapaches (CDC, 2021).

Con relación a la transmisión perro-perro, en los Estados Unidos se informó que un perro doméstico presentó anticuerpos contra el SARS-CoV-2, sin embargo, el suero de otro perro del mismo hogar resultó negativo para anticuerpos neutralizantes, lo que sugiere



que la transmisión entre congéneres es limitada (Na & Kuiken, 2021), lo mismo ocurrió en México, hubo un caso en Toluca, Estado de México donde existieron 7 perros expuestos y sólo uno enfermó y hubo otro caso en Iztapalapa, Ciudad de México, donde 4 animales fueron expuestos y dos enfermaron.

La transmisión de gato-gato ha sido exitosa en inoculaciones experimentales, donde han detectado que gatos asintomáticos días después de la exposición, transmiten el virus a otros gatos por medio de aerosoles. También se ha demostrado que la transmisibilidad y patogenicidad del SARS-CoV-2 se reduce significativamente mediante el paso secuencial entre gatos. El periodo reportado de excreción viral en esta especie es de 3 días, lo que justifica una vigilancia serológica activa, oportuna e inmediata en gatos que han tenido contacto con pacientes con COVID-19 (Percedo-Abreu, 2020; Barrs *et al.*, 2020; Halfmann *et al.*, 2020; Bao *et al.*, 2021).

Está documentado que los signos clínicos en mascotas van de leves a graves, en perros se reporta anorexia y bronconeumonía, mientras que en gatos reportan signos gastrointestinales como vómito y un cuadro respiratorio que puede progresar a grave yendo de una gama de signos como estornudos, secreción ocular y disnea (Haake *et al.*, 2020; Na & Kuiken, 2021). En este estudio, los propietarios de animales reportaron una variedad de signologías donde la depresión, anorexia, estornudos y escurrimiento nasal fueron los mayormente identificados. De acuerdo con los reportes de la autoridad sanitaria mexicana el único canino que falleció presentó un cuadro clínico complicado con distemper canino.

Para una correcta gestión de la vigilancia epidemiológica veterinaria, es de vital importancia realizar la notificación oportuna ante cualquier sospecha de detectar un animal con signología sugerente a COVID-19. Se recomienda que, dentro de la anamnesis de la práctica médica veterinaria, se incluya la exposición a una persona infectada de COVID-19 y en caso de sospecha llamar a las autoridades sanitarias correspondientes.

Se ha planteado una hipótesis sobre la inmunidad cruzada entre el SARS-CoV-2 y el coronavirus respiratorio canino (CRCoV) ya que los epítomos de las proteínas pico de ambos están relacionados taxonómicamente y existe una alta homología entre ellos (Salajegheh *et al.*, 2020). La investigación en vacunas en diferentes modelos animales se está desarrollando (Bricker *et al.*, 2021), se espera que esta tecnología pueda llegar a México para comenzar con inmunizaciones en animales.

Las adversidades que ha traído la pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto la importancia que tiene la epidemiología de las zoonosis en el mundo y ha reforzado en la población la educación de las medidas higiénicas y preventivas básicas que se han adoptado en los últimos meses para con nuestros iguales, con los animales y con el ambiente con el que convivimos día a día.



Toda medida de prevención y control juega un papel vital en la lucha contra las enfermedades, por lo que la educación poblacional debe proporcionarse a todos los niveles de la sociedad y debe incluirse la prevención y control con las mascotas, lo que fomentará la tenencia responsable de perros y gatos; es importante que los propietarios de éstos, estén debidamente informados sobre los riesgos zoonóticos (Macpherson, 2005; Lee *et al.*, 2010) para que se pueda actuar, documentar y caracterizar de manera oportuna la enfermedad.

Por otra parte, es necesario abordar la problemática de la COVID-19 en todos sus ámbitos con un enfoque de “Una Salud” (One Health), donde la participación multidisciplinaria sea el eje central en el abordaje de la toma de decisiones para atacar los obstáculos que se puedan presentar en materia de salud humana, animal y ambiental para lograr la salud óptima gracias a los esfuerzos de colaboración donde los profesionales de la salud humana y la veterinaria establezcan una base estadística de la prevalencia de la enfermedad en sus respectivos campos (Lee *et al.*, 2010).

## CONCLUSIONES

En el periodo de 2020 a junio del 2021 se presentaron 10 casos confirmados de COVID-19 en perros. La mayor parte de la población estudiada no cree que sus mascotas puedan enfermar al estar en contacto con personas infectadas con el virus SARS-CoV-2. La población que piensa que su mascota si puede enfermar, ha podido identificar desviaciones de los estados de salud de ellas en los periodos de interés y se refleja de manera significativa en la población que cuenta con felinos.

Por otra parte, los contactos y las variables que sugieren plausibilidad biológica han impactado en la percepción de enfermedad de estos animales. Asimismo, se observa que algunos animales expuestos presentaron por lo menos un signo clínico de la enfermedad y a pesar de que los propietarios lo observaron, la mayoría de estos no los llevaron a consulta médica.

Se espera que este estudio de la percepción de los propietarios ante el SARS-Cov-2 en perros y gatos domiciliados en México pueda servir como un primer escenario para un diseño epidemiológico más robusto en un futuro en México, pudiendo realizar análisis de anticuerpos, caracterización epidemiológica con muestreo probabilístico, bancos de sueros y estudios comparativos.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los encuestados, a la Asociación Mexicana de Epidemiología Veterinaria (AMEV) por su colaboración en la distribución de la encuesta. A la Dra. Alejandra León Cruz quien proporcionó información valiosa. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca para estudios de maestría.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Todos los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés.



## LITERATURA CITADA

BAO L, Song Z, Xue J, Gao H, Liu J, Wang J, Guo Q, Zhao B, Qu Y, Qi F, Gong S, Liu M, Lv Q, Li D, Han Y, Zhao W, Deng S, Liu Y, Xiang Z, Yang B, Deng W, Yu H, Cong Z, Wei Q, Xu J, Gao GF, Qin C. 2021. Susceptibility and Attenuated Transmissibility of SARSCoV-2 in Domestic Cats. *The Journal of Infectious Diseases*. 223:1313–21. ISSN: 0022-1899. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiab104>

BAR H. 2021. COVID-19 Lockdown: animal life, ecosystem and atmospheric environment. *Environment, Development and Sustainability*. 23:8161–8178. ISSN: 1387585X,15732975. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01002-7>

BARRS VR, Peiris M, Tam KWS, Law PYT, Brackman CJ, To EMW, YO VYT, Chu DKW, Perera RAPM, Sit THC. 2020. SARS-CoV-2 in Quarantined Domestic Cats from COVID-19 Households or Close Contacts, Hong Kong, China. *Research letters. Emerging Infectious Diseases*. 26(12):3071-3074. ISSN:1080-6059. <https://doi.org/10.3201/eid2612.202786>

BRICKER TL, Darling TL, Hassan AO, Klein R, Diamond MS, Boon ACM. 2021. A single intranasal or intramuscular immunization with chimpanzee adenovirus-vectored SARS-CoV-2 vaccine protects against pneumonia in hamsters. *Cell Reports*. 36(109400):1-11. ISSN: 2211-1247. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2021.109400>

CDC (Centers for Disease Control and Prevention). 2021. Los animales y el COVID-19. <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/daily-life-coping/animals.html>

GARIBOTTI G, Zacharías D, Flores V, Catrیمان S, Falconaro A, Surpik K, Luque ML, Macedo B, Molina J, Rauque C, Soto M, Vázquez G, Vega R., Gustavo V. 2017. Tenencia responsable de perros y salud humana en barrios de San Carlos de Bariloche, Argentina. *Medicina Buenos Aires*. 77:209-313. ISSN: 1669-9106. [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/?bsearch\\_highlight=Tenencia%20responsable%20de%20perros%20y%20salud%20humana%20en%20barrios%20de%20San%20Carlos%20de%20Bariloche%20C%20Argentina](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/?bsearch_highlight=Tenencia%20responsable%20de%20perros%20y%20salud%20humana%20en%20barrios%20de%20San%20Carlos%20de%20Bariloche%20C%20Argentina)



GARIGLIANY M, Van Laere A-S, Clercx C, Giet D, Escriou N, Huon C, Van Der Werf S, Eloit M, Desmecht D. 2020. SARS-CoV-2 Natural Transmission from Human to Cat, Belgium, March 2020. *Emerging Infectious Disease*. 26(12):3069-3071. ISSN: 1080-6059. <https://doi.org/10.3201/eid2612.202223>

HAAKE C, Cook S, Nicola P, Murphy B. 2020. Coronavirus Infections in Companion Animals: Virology, Epidemiology, Clinical and Pathologic Features. *Viruses*. 12(1023):1-22. ISSN: 1999-4915. <https://doi.org/10.3390/v12091023>

HALFMANN PJ, Hatta M, Chiba S, Maemura T, Fan S, Takeda M, Kinoshita N, Hattori S, Sakai-Tagawa Y, Iwatsuki-Horimoto K, Imai M, Kawaoka Y. 2020. Transmission of SARS-CoV-2 in Domestic Cats. *The New England Journal of Medicine*. 383:592-594. ISSN: 1533-4406. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2013400>

JARAMILLO ACJ, Romero LJA, Campuzano OVM. 2017. *Salud Pública y Medicina Preventiva Veterinaria*. Ciudad de México, México: Editorial Trillas. Pp: 53–74. ISBN: 978-607-17-2928-6.

LEE ACY, Schantz PM, Kazacos KR, Montgomery SP, Bowman DD. 2010. Epidemic and zoonotic aspects of ascarid infections in dogs and cats. *Trends in parasitology*. 26(4):155-161. ISSN: 14715007. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2010.01.002>

LEROY EM, Ar GM, Brugère-Picoux J. 2020. The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a one-health strategy to control the COVID-19 pandemic. *One Health*. 10(100133):1-4. ISSN: 2352-7714. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100133>

LOSS SR, Marra PP. 2017. Population impacts of free-ranging domestic cats on mainland vertebrates. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 15(9):502–509. ISSN: 1540-9309. <https://doi.org/10.1002/fee.1633>

LUZIO A, Belmar P, Troncoso I, Luzio P, Jara A, Fernández I. 2015. Formas parasitarias de importancia zoonótica, encontradas en heces de perros recolectadas desde plazas y parque públicos de la ciudad de Los Ángeles, Región del Bío Bío, Chile. *Revista Chilena de Infectología*. 32(4):403-407. ISSN: 0717-6341. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182015000500006>

MACPHERSON CNL. 2005. Human behaviour and the epidemiology of parasitic zoonoses. *International Journal for Parasitology*. 35:1319-1331. ISSN: 0020-7519. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.06.004>



NA ASS, Kuiken T. 2021. Reverse Zoonosis of COVID-19: Lessons From the 2009 Influenza Pandemic. *Veterinary Pathology*. 58(2):234-242. ISSN: 0300-9858.

<https://doi.org/10.1177/0300985820979843>

OIE<sup>a</sup> (Organización Mundial de Sanidad Animal). 2021. *Sars-Cov-2, México. Informe de seguimiento No. 1*. México. Pp.1-2.

[https://www.oie.int/wahis\\_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review?reportid=37491](https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review?reportid=37491)

OIE<sup>b</sup> (Organización Mundial de Sanidad Animal). 2021. *Sars-Cov-2, México. Informe de seguimiento No.2*. México. Pp.1-6. [www.oie.int/wahis](http://www.oie.int/wahis)

OIE<sup>c</sup> (Organización Mundial de Sanidad Animal). 2021. *Sars-Cov-2, México. Informe de seguimiento No.3*. México. Pp.1-7. [www.oie.int/wahis](http://www.oie.int/wahis)

OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal). 2020. *Sars-Cov-2, México. Notificación inmediata*. México. Pp.1-3.

[https://www.oie.int/wahis\\_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review?page\\_refer=MapFullEventReport&reportid=37117&newlang=es](https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review?page_refer=MapFullEventReport&reportid=37117&newlang=es)

OTRANTO D, Dantas-Torres F, Mihalca AD, Traub RJ, Lappin M, Baneth G. 2017. Zoonotic parasites of sheltered and stray dogs in the era of the global economic and political crisis. *Trends in Parasitology*. 33(10):1-13. ISSN: 14714922, 14715007.

<https://doi.org/10.1016/j.pt.2017.05.013>

PERCEDO-ABREU MI. 2020. COVID-19, Your Pet and Other Animals: Are You at Risk?, *MEDICC Review*. 22(4):81-82. ISSN: 15273172, 15557960.

<https://doi.org/10.37757/MR2020.V22.N4.8>

SALAJEGHEH TS, Magalhães DP, Rahimi P, Shahabinejad F, Dhakal S, Singh MY, Shehata AA, Lama J, Klein J, Safdar M, Rahman MT, Filipiak KJ, Rodriguez-Morales AJ, Sobur MA, Kabir F, Vazir B, Mboera L, Caporale M, Islam MS, Amuasi JH, Gharieb R, Roncada P, Musaad S, Tilocca B, Kazem KM, Taghipour A, Sait A, Subbaram K, Jahandideh A, Mortazavi P, Amin AM, Hokey DA, Hogan U, Shaheen MNF, Elswad A, Elhaig MM, Fawzy M. 2020. Transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) to animals: an updated review. *Journal of Translational Medicine*. 18(358):1-11. ISSN: 14795876. <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02534-2>

SSA<sup>a</sup> (Secretaría de Salud). 2021. *Coronavirus, Información accesible, ¿Puedo transmitir o adquirir el virus de mis mascotas?*. México. Pp.1

<https://coronavirus.gob.mx/informacion-accesible/>



SSA<sup>b</sup> (Secretaría de Salud). 2021. *Coronavirus, Preguntas frecuentes, ¿Mis mascotas pueden contagiarse?* México. Pp.1 <https://coronavirus.gob.mx/preguntas-frecuentes/>

SSA (Secretaría de Salud). 2011. *Norma Oficial Mexicana para la prevención y control de la rabia humana y en los perros y gatos. NOM-011-SSA2-2011*, México: Diario Oficial de la Federación. Pp.1-40.

[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5223519&fecha=08/12/2011](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5223519&fecha=08/12/2011)

SILVA AB, Canseco SP, Gabriel de la TMedIP, Silva AM, Mayoral MA, Pérez-Campos ML, López MJ, Pérez-Campos E. 2014. Infección humana asintomática por contacto con perros. Un caso de ehrlichiosis humana. *Gaceta Médica de México*. 150:171-174. ISSN: 00163813

SIT THC, Brackman CJ, Ip SM, Tam KWS, Law PYT, To EMW, Yu VYT, Sims LD, Tsang DNC, Chu DKW, Perera RAPM, LLM, Peiris M. 2020. Canine SARS-CoV-2 infection. *Nature*. 586(7831):776–778. ISSN: 00280836, 14764687.

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2334-5>

SUÁREZ V, Suarez QM, Oros RS, Ronquillo de JE. 2020. Epidemiología de COVID-19 en México: del 27 de febrero al 30 de abril de 2020. *Revista Clínica Española*. 220(8):463-471. ISSN: 00142565, 15781860. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.05.007>

VON KOSSEL DASK, Fittipaldi KC, Kreischer C, Fernández FAS, Pires AS. 2018. Who let the dogs out? Occurrence, population size and daily activity of domestic dogs in an urban Atlantic Forest reserve. 2018. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 16:228-233. ISSN: 25300644. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.09.001>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.3>

Artículo Original. Recibido: 20/05/2022. Aceptado:22/08/2023. Publicado: 05/05/2024. Clave: e2022-37.

<https://www.youtube.com/watch?v=Rn-sSFpgaYA>

## Comportamiento productivo, integridad intestinal y respuesta inmune en pollos alimentados con dietas suplementadas con L-glutamina



Performance, intestinal integrity and immune response in broilers fed diets supplemented with L- glutamine

**Miguel-Iriarte Jorge<sup>1ID</sup>, Cortes-Cuevas Arturo<sup>\*1ID</sup>, Hernández-Espinoza Jorge<sup>2ID</sup>, Gómez-Verduzco Gabriela<sup>3ID</sup>, Vázquez-Delgado Alma<sup>1ID</sup>, Ávila-González Ernesto<sup>1ID</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Manuel M. López S/N, Colonia Zapotitlán, Alcaldía Tláhuac, CP 13300, <sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Morfología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Avenida Universidad No. 3000, Colonia UNAM, CU, Alcaldía Coyoacán, CP 04510. <sup>3</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Avenida Universidad No. 3000, Colonia UNAM, CU, Alcaldía Coyoacán, CP 04510. \*Autor de correspondencia: Cortés Cuevas Arturo. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Manuel M. López S/N, Colonia Zapotitlán, Alcaldía Tláhuac, CP 13300. E-mail: mvz.jorge.miguel@gmail.com, cortescuevasarturo@yahoo.com, jorgehe@unam.mx, gagove@unam.mx, almavd@unam.mx, avilaernesto@yahoo.com

### RESUMEN

En dos experimentos se evaluó la adición de AminoGut (AG). En el Experimento 1, se utilizaron 300 pollos Ross 308 en 5 tratamientos con 3 repeticiones de 20 pollos cada una. En el Experimento 2, se emplearon 640 pollos en 4 tratamientos con 5 repeticiones de 32 pollos cada una. Los tratamientos del Exp. 1: T1.- Dieta testigo sorgo + pasta de soya, T2.- Como 1 + 700 ppm de la mezcla de AG/ ton, T3.- Como 1 + 1400 ppm de AG/ ton, T4.- Como 1 + 2100 ppm de AG/ ton, T5.- Como 1 + 2800 ppm de AG/ ton. En el Exp. 2 se eliminó el tratamiento 5. En el Experimento 1, hubo efecto ( $P<0.05$ ) en comportamiento productivo y peso de la canal, con 700 ppm de AG. En el Experimento 2, mejoró la altura de vellosidades intestinales e hipersensibilidad tardía ( $P<0.05$ ) con 700 ppm de AG, así como el rendimiento en canal a los 42 días. Se puede concluir que la adición de 700 ppm de AminoGut en dietas para pollos de 1 a 21 días de edad, incrementó los parámetros productivos, longitud de las vellosidades, rendimiento en canal y respuesta inmune.

**Palabras claves:** AminoGut, parámetros productivos, vellosidades intestinales, respuesta inmune.

### ABSTRACT

In two experiments the addition of AminoGut (AG) was evaluated. In Experiment 1, 300 Ross 308 broilers were used in 5 treatments with 3 repetitions of 20 broilers each. In Experiment 2, 640 broilers were used in 4 treatments with 5 repetitions of 32 broilers each. Exp. 1 treatments: T1.- Control diet sorghum + soybean meal, T2.- As 1 + 700 ppm of the mixture of AG/ ton, T3.- As 1 + 1400 ppm of AG/ ton, T4.- As 1 + 2100 ppm of AG/ ton, T5.- As 1 + 2800 ppm of AG/ ton. In Exp. 2, treatment 5 was eliminated. In Experiment 1,



there was an effect ( $P < 0.05$ ) on performance and carcass weight, with 700 ppm of AG. In Experiment 2, the height of intestinal villi and late hypersensitivity ( $P < 0.05$ ) improved with 700 ppm of AG, as well as carcass yield at 42 days. It can be concluded that the addition of 700 ppm of AminoGut in diets in broilers from 1 to 21 days of age, increased the performance, villus length, carcass yield and immune response.

**Keywords:** AminoGut, Glutamine, Glutamic Acid, performance, intestinal villi, immune response.

## INTRODUCCIÓN

La producción comercial de pollos de engorda es una actividad dinámica en los animales de granja; esto es debido a la selección genética para obtener rápido crecimiento, buena conversión alimenticia y rendimiento de la canal (Cuca *et al.* 2009). Bajo condiciones comerciales, los pollos pueden pasar de 24 a 48 horas sin consumir alimento y agua, después de haber salido de la sala de nacencias y la transportación hacia las granjas de producción; esto puede causar disminución en las reservas de la yema, estrés y mortalidad en el pollo recién nacido. Por lo que es importante que el pollito tenga acceso inmediato al alimento y agua para obtener un óptimo desarrollo intestinal (Zulkifli *et al.* 2016).

El exceso de aves por metro cuadrado es un factor desencadenante de estrés, que puede afectar la integridad intestinal y disminuye la respuesta inmune en el epitelio intestinal (Wu *et al.* 2021). El uso de glutamina en dietas para aves puede disminuir dichos efectos adversos en el epitelio intestinal, ya que la glutamina es el principal combustible metabólico de los enterocitos, linfocitos, macrófagos y fibroblastos en el intestino delgado (Bortoluzzi *et al.* 2018; Wu *et al.* 2018).

La glutamina es un aminoácido neutro libre en grandes cantidades en músculos y plasma; su función es la síntesis de aminoácidos no esenciales, nucleótidos, ácidos nucleicos, azúcares y proteínas. La glutamina puede ser sintetizada a partir de amonio y glutamato en el músculo esquelético. Aunque la glutamina es un aminoácido no esencial, sus necesidades pueden no ser cubiertas bajo condiciones de estrés (Wu *et al.* 2021). La suplementación de glutamina mejora el crecimiento, el desarrollo del intestino, calidad de la carne y respuesta inmune humoral al apoyar la proliferación óptima de linfocitos y producción de citocinas por linfocitos y macrófagos (Bartell & Batal, 2007; Bortoluzzi *et al.* 2018; Wu *et al.* 2018; Jarred *et al.* 2019).

El producto comercial Aminogut, una mezcla comercial con 10% de glutamina y 10% de ácido glutámico para incorporar glutamina, ha mostrado reducir la mortalidad bajo condiciones de estrés por calor y en pollos criados con densidades de población elevadas (Wu *et al.* 2018; Wu *et al.* 2021). Por otro lado, la adición de glutamina mejora la ganancia de peso, conversión alimenticia y la longitud de las vellosidades intestinales (Olubodun *et al.* 2015; Zulkifli *et al.* 2016; Bortoluzzi *et al.* 2018; Xi *et al.* 2019).



La adición de glutamina, además de mejorar los parámetros productivos, ayuda a disminuir las lesiones en duodeno, yeyuno e íleon, cuando los pollos son desafiados con la bacteria causante de la enteritis necrótica (Xue *et al.* 2018). Por todo lo anterior, la inclusión de glutamina en dietas para pollos puede ser también una alternativa al empleo de antibióticos como promotores del crecimiento (Pelicia *et al.* 2013).

Con estos antecedentes, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la inclusión de varios niveles bajos de AminoGut en dietas sorgo-pasta de soya para pollos de engorda de 1 a 49 días de edad y medir su efecto en el comportamiento productivo, rendimiento de la canal, integridad intestinal e inmunidad celular.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo dos experimentos en las instalaciones del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAV) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual se localiza en la calle Manuel M. López S/N en la Colonia Santiago Zapotitlán, Delegación Tláhuac, Distrito Federal, a una altura de 2250 msnm, en el paralelo 19°17' latitud norte y el meridiano 99° 02' 30" longitud oeste. Bajo condiciones de clima templado subhúmedo (Cw). Enero es el mes más frío y mayo el más caluroso, la temperatura promedio anual es de 16°C y con una precipitación pluvial anual media de 747 mm (INEGI 2017).

Los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales Experimentales en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México con el oficio SICUAE MC-2023/2-2.

El Experimento 1. Se utilizaron 300 pollitos de la estirpe Ross 308 de 1 día de edad, adquiridos en una incubadora comercial. Las aves fueron distribuidas en 15 lotes de 20 pollos cada uno (mitad machos y mitad hembras); alojados en una caseta convencional en corrales con piso de cemento, cama de viruta, sin aislamiento térmico en el techo y cortinas laterales.

El Experimento 2, se utilizaron 640 pollitos de la estirpe Ross 308 de 1 día de edad, que se obtuvieron de una incubadora comercial. Las aves fueron distribuidas en 20 lotes de 32 pollos cada uno (mitad machos y mitad hembras); alojados en una caseta convencional, corrales con piso de cemento, cama de viruta, aislamiento térmico en el techo y cortinas laterales. En cada corral se manejó una densidad de población de 12 aves/m<sup>2</sup>. Las aves se pesaron una por una al final del Experimento (49 días), para calcular la uniformidad de la parvada.

En ambos experimentos, a las aves se les proporcionó calor durante las primeras 4 semanas de vida con criadoras infrarrojas (Quintana, 2011). En los dos experimentos las



aves fueron alimentadas con dietas a base de sorgo + pasta de soya durante todo el ciclo; se manejaron 3 etapas de alimentación, de 0-10 días inicio, de 11 – 21 días crecimiento y finalización de 22 – 49 días (Lesson & Summers 2005). La glutamina 10% + ácido glutámico 10%, se adicionaron a las dietas, por medio de una mezcla comercial AminoGut®.

Se proporcionó de 1–21 días de edad (etapas de iniciación y crecimiento); posteriormente se les proporcionó a todos los tratamientos dietas de finalización de los 22 a los 49 días de edad. El alimento se suministró a libre acceso durante todo el ciclo productivo. Las dietas utilizadas en ambos experimentos, se muestran en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales de iniciación, crecimiento y finalización empleadas en los experimentos 1 y 2 (kg)**

Ingredientes	Iniciador (0-10días)	Crecimiento (11-21 días)	Finalización (22-49 días)
Sorgo	502.483	565.827	626.560
Pasta de Soya	406.842	331.782	275.553
Aceite Vegetal	41.494	57.388	54.170
Fosfato de Calcio	18.413	16.329	15.150
Carbonato de Calcio	15.267	13.897	13.388
Sal	3.814	3.837	3.848
DL-Metionina	3.471	2.929	2.048
Cloruro de Colina 60%	3.400	3.400	0.800
L-Lisina HCl	1.788	1.625	0.661
Premezcla de Vitaminas+minerales*	1.500	1.500	1.500
L-Treonina	0.587	0.473	0.042
Cocciostato***	0.500	0.500	0.500
Bacitracina MD 10%	0.300	0.300	0.300
Antioxidante	0.150	0.150	0.150
Piveg amarillo (15g/kg)	0.000	0.000	5.330
Total	1000	1000	1000
Nutriente	Análisis calculado		
EM (kcal/kg)	3010	3175	3225
Proteína Cruda %	24.00	21.00	19.00
Met + Cis %	1.059	0.925	0.785
Lisina %	1.435	1.217	0.998
Calcio %	1.000	0.900	0.850
Fosforo no fítico %	0.500	0.450	0.420
Sodio %	0.160	0.160	0.160

\*Proporciona por Kg. Vitamina A 12, 000,000 UI; Vitamina D3 2, 500,00 UI; Vitamina E 15,000 UI; Vitamina K 2.0g; Tiamina 2.25g; Riboflavina 7.5g; Cianocobalamina 0.010 g; Ácido Fólico 1.5g; Piridoxina 1.5g; Pantotenato de calcio 10g; Niacina 45g. \*\*Proporciona por Kg. Selenio ,0.2g; Cobalto 0.2g; Yodo 0.3g; Cobre 10g; Zinc 50g; Hierro 100g; Manganeso 110g; excipiente cbp1000g.  
 \*\*\* Nicarbazina durante iniciación y crecimiento; monensina durante finalización.



Los tratamientos fueron conformados de la siguiente forma en el experimento 1. En el experimento 2 se emplearon solo los primeros 4 tratamientos.

- T1= Dieta Sorgo + Pasta de Soya
- T2= Como 1 + 700 ppm de AG durante 21 días on Top. (inclusión extra en la dieta).
- T3= Como 1 + 1400 ppm de AG durante 21 días on Top.
- T4= Como 1 + 2100 ppm de AG durante 21 días on Top.
- T5= Como 1 + 2800 ppm de AG durante 21 días on Top.

El agua se ofreció en ambas investigaciones a libre acceso durante los 49 días de experimentación. Las aves fueron vacunadas a los 8 días de edad contra la enfermedad de Newcastle (ENC), vía ocular (una gota/pollo) y por vía subcutánea contra enfermedad de Newcastle-Influenza Aviar (ENC/IA, 0.5 ml/ave). A los 16 días de edad fueron revacunadas solamente vía subcutánea contra ENC/IA.

En ambos estudios se llevaron registros semanales de ganancia de peso, consumo de alimento e índice de conversión.

En el Experimento 2: al día 21 de edad, se evaluó la respuesta inmune celular, por medio de la prueba de Hipersensibilidad cutánea basofílica, por inoculación en la membrana interdigital de los miembros inferiores de las aves (10 pollos por tratamiento). La inoculación intradérmica de Fitohemaglutinina (PHA-A Sigma-Aldrich, Inc.), fue a una concentración de 0.1 mg/0.1 ml en la membrana interdigital de las falanges 3 y 4 de la extremidad inferior derecha, empleándose 2 pollos por réplica. En la membrana interdigital de la pata izquierda, se realizó el mismo procedimiento, utilizando solución salina estéril (0.1 ml) como testigo. A las 24 hrs. pos-inoculación, se determinó el grosor de la membrana interdigital con un vernier digital, empleando la metodología descrita por [Gómez et al. \(2010\)](#).

Al día 35 de edad fueron sacrificadas 15 aves por tratamiento, para poder determinar la morfología de las vellosidades intestinales de duodeno; las porciones de duodenos que se tomaron fueron de 1 cm<sup>3</sup> aproximadamente por muestra. El procesamiento de las muestras se realizó en el laboratorio de biología tisular del Departamento de Morfología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los tejidos se procesaron mediante la técnica de inclusión en parafina; para ello se utilizó un procesador automático de tejido (histoquinete), para deshidratar, aclarar e impregnar las muestras. Los reactivos que se utilizaron fue alcohol, xilol (Baker®) y parafina (paraplast®). Con un micrótopo de la marca Leica® modelo RM215RT se obtuvieron cortes de tejidos de 6 µm de grosor, a partir de los bloques de parafina. Los cortes se montaron en laminillas portaobjetos de 25X75 mm y cubreobjetos de 0.8 – 1.1



mm marca Corning®; finalmente se tiñeron con la técnica de Hematoxilina y Eosina (Morales, 2013).

La obtención de las muestras en las que se midió la longitud de las vellosidades intestinales, se realizó en 15 aves de cada tratamiento a los 35 días de edad. Las aves se sacrificaron humanitariamente como lo señala la NOM-033-SAG/ZOO-2014. El acceso a la cavidad abdominal fue a 2 cm en dirección caudal, se obtuvieron los tejidos y se tomó una muestra a partir del asa duodenal con el empleo de bisturí, tijeras y pinzas. Los fragmentos de tejidos obtenidos fueron de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup>, para quitar el contenido intestinal; se utilizó solución salina fisiológica estéril a temperatura ambiente, para limpiar los fragmentos de intestino. La técnica de fijación utilizada fue por perfusión luminal, y posteriormente mediante inmersión formol al 10 %. El tiempo de fijación fue de 72 horas a temperatura ambiente (Estrada *et al.*, 1982).

Al final de los experimentos se sacrificaron en la planta de procesamiento del CEIEPAV, 15 aves por tratamiento. Antes del sacrificio, las aves fueron sometidas a un ayuno de 8 horas, se pesaron individualmente, para calcular el rendimiento de la canal. Por otro lado, se midió la pigmentación amarilla (b) de la piel en caliente (después del sacrificio), en la región de la grasa de la pechuga, con un colorímetro de reflectancia de la marca Minolta® CR-400.

Los datos de las variables en estudio fueron sometidos a un análisis de varianza, conforme a un diseño completamente al azar y en caso de existir diferencia estadística, se realizó la prueba de comparación de medias a través de la prueba de Tukey a una probabilidad del 5% y 1%. Para la variable de porcentaje de mortalidad antes de su análisis, se hizo la transformación por raíz de arco-seno, antes de su análisis con el paquete estadístico SPSS versión 17.0.

## RESULTADOS

### Experimento 1

En el cuadro 2, aparecen los datos promedio de los parámetros productivos a los 49 días de edad de las aves, con diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos, para ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y rendimiento de la canal; con mejores resultados en el tratamiento con 700 ppm de AminoGut, respecto a los demás tratamientos. Para la variable mortalidad general, no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos.



**Cuadro 2. Variables productivas de pollitos de 0- 49 días (experimento 1)**

Tratamiento ppm AG	Ganancia de peso (g)	Consumo de Alimento (g)	Conversión alimenticia (g/g)	Peso de la canal (g)
0	2903 <sup>b</sup>	5684 <sup>b</sup>	1.96 <sup>b</sup>	2108 <sup>b</sup>
700	3267 <sup>a</sup>	5944 <sup>a</sup>	1.82 <sup>a</sup>	2375 <sup>a</sup>
1400	3047 <sup>b</sup>	5780 <sup>b</sup>	1.90 <sup>a<sup>b</sup></sup>	2254 <sup>ab</sup>
2100	3017 <sup>b</sup>	5884 <sup>b</sup>	1.95 <sup>a<sup>b</sup></sup>	2250 <sup>ab</sup>
2800	2988 <sup>b</sup>	5687 <sup>b</sup>	1.90 <sup>ab</sup>	2159 <sup>b</sup>

Valores con distinta letra para cada variable son diferentes ( $P < 0.05$ )

## Experimento 2

En el cuadro 3, se muestran los resultados obtenidos a los 49 días de edad para ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, peso de la canal y amarillamiento de la piel. En los resultados obtenidos para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) ( $P < 0.05$ ), entre tratamientos.

Se puede observar que en la variable peso de la canal, hubo diferencias ( $P < 0.05$ ) ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, con mayor peso de la canal en las aves tratadas con AG. Para amarillamiento de la piel de la pechuga no existieron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos (cuadro 3).

**Cuadro 3. Comportamiento productivo de pollos de 0- 49 días (experimento 2)**

Tratamiento ppm	Ganancia de peso (g)	Consumo de Alimento (g)	Conversión (g/g)	Peso de la canal (g)	Amarillamiento en piel (b)
0	3026 <sup>a</sup>	5908 <sup>a</sup>	1.95 <sup>a</sup>	2118 <sup>b</sup>	46.0 <sup>a</sup>
700	3043 <sup>a</sup>	5889	1.93 <sup>a</sup>	2191 <sup>ab</sup>	47.0 <sup>a</sup>
1400	3046 <sup>a</sup>	5878 <sup>a</sup>	1.93 <sup>a</sup>	2223 <sup>a</sup>	48.0 <sup>a</sup>
2100	3046 <sup>a</sup>	5831 <sup>a</sup>	1.91 <sup>a</sup>	2255 <sup>a</sup>	48.0 <sup>a</sup>

Valores con la misma letra son similares ( $P > 0.05$ )

El cuadro 4, se pueden observar los datos promedio que se obtuvieron en la valoración de la respuesta inmune celular, mediante la prueba de hipersensibilidad tardía basofílica a los 21 días de edad. Los resultados indicaron un aumento en el grosor interdigital a la inoculación de la fitohemaglutinina con efecto significativo ( $P < 0.05$ ), donde se puede apreciar que los tratamientos 2, 3 y 4 que llevaron AG, tuvieron mayor grosor de la



membrana interdigital, respecto al tratamiento testigo negativo. En el caso de la inoculación con solución salina fisiológica, no se observaron diferencias ( $P>0.05$ ) entre tratamientos.

Los datos de la medición de longitud de las vellosidades en duodeno a los 35 días de edad de las aves, también se muestran en el cuadro 4, se puede apreciar que existió diferencia ( $P<0.05$ ) entre tratamientos; donde el tratamiento 2 con 700 ppm AG, mostró la mayor altura de las vellosidades intestinales en duodeno, respecto a los demás tratamientos.

**Cuadro 4. Resultados de la prueba de hipersensibilidad tardía a los días 21 de edad y longitud de las vellosidades intestinales en duodeno de pollos de 35 días de edad, en el experimento 2**

Tratamiento	PHA día 21*	SS día 21**	Longitud vellosidades intestinales ( $\mu\text{m}$ )
ppm Gln/Glu	mm	mm	
0	0.48 <sup>b</sup>	0.16 <sup>a</sup>	2103 <sup>b</sup>
700	0.58 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	2534 <sup>a</sup>
1400	0.56 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>	2070 <sup>b</sup>
2100	0.56 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>	2198 <sup>b</sup>

Valores con distinta letra para cada variable son diferentes ( $P<0.05$ ). \*PHA= Fitohemaglutinina. \*\*SS= Solución Salina estéril

## DISCUSIÓN

En el presente estudio se pudo observar que al adicionar dosis bajas de AminoGut (700 ppm) en las dietas de los pollos, hubo un efecto en ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. En el experimento 1 y en el experimento 2, existió efecto significativo en el rendimiento del peso de la canal. Estos resultados coinciden en parte con los obtenidos por [Miguel \*et al.\* \(2009\)](#), quienes al adicionar 200 a 800 ppm de AG en dietas basales sorgo + soya, encontraron mejora en la ganancia de peso, índice de conversión y rendimiento de la canal a los 49 días de edad. Por otro lado, [Bartell & Batal \(2007\)](#), adicionaron dosis altas de glutamina (1000 y 4000 ppm) en dietas para pollos, donde observaron mayor ganancia de peso y conversión alimenticia en pollos que recibieron 10000 ppm de glutamina; no así cuando se incluyó el 4% en la dieta, en la cual encontraron un efecto tóxico en las aves. Al igual que [Xi \*et al.\* \(2019\)](#) utilizaron diferentes niveles de glutamina (500, 1000 y 1500 ppm) en dietas maíz-soya para pollos Arbor Acres de 0-14 días, donde demuestran que los pollos alimentados con glutamina (1000 y 1500 ppm) mejoraron la ganancia de peso y la conversión alimenticia. También [Wu \*et al.\* \(2019\)](#) adicionaron 500 y 1000 ppm de glutamina en dietas maíz-soya para pollos de 1-21 días; donde encontraron un mayor peso corporal en los tratamientos con



glutamina, respecto a la dieta testigo negativo. Sin embargo, [Jarred et al. \(2019\)](#) incluyeron (500 y 1000 ppm) de glutamina en la dieta de los pollos de 1- a 14 días de edad, y no encontraron efecto significativo en el peso corporal y en conversión alimenticia. Otros investigadores tampoco encontraron efecto benéfico en el comportamiento productivo cuando adicionaron (500 ppm) de AminoGut en dietas para pollos de 1 a 42 días de edad, bajo dos densidades de población ([Shakeri et al. 2014](#)). Estos resultados coincidieron en parte a los obtenidos en el experimento 2, donde no hubo efecto de la glutamina y ácido glutámico sobre los parámetros productivos. Otros autores no encontraron efecto benéfico al adicionar 1000 ppm de glutamina, arginina y glicina en dietas reducidas en proteína para pollos sujetos a un modelo de intestino permeable ([Barekatin et al. 2019](#)).

Los resultados indicaron un mayor peso de la canal y peso de la pechuga en los tratamientos con dichos aminoácidos. De igual forma, [Miguel et al. \(2009\)](#), observaron que con la utilización de AG, mejoró el rendimiento de la canal de los pollos. Al igual que [Hu et al. \(2016\)](#) encontraron que la inclusión de 1000 ppm de glutamina en dietas para pollos Arbor Acres de 1 a 35 días de edad, mejoró la calidad de la canal (en músculo pectoral mayor). Por otro lado, [Kriseldi et al. \(2017\)](#), investigaron en pollos de 1-41 días, incluyendo 1920 y 2240 ppm de glutamina en dietas reducidas en proteína, donde encontraron un mayor rendimiento de la canal y de la pechuga en los pollos alimentados con glutamina, respecto a los tratamientos sin el aminoácido.

En el presente estudio se encontró un incremento en la altura de las vellosidades intestinales al incluir 700 ppm de AG. Estos resultados fueron similares en parte a los obtenidos por [Bartell & Batal \(2007\)](#), quienes adicionaron 1000 y 4000 ppm-de glutamina, encontrando una mayor longitud de las vellosidades intestinales en duodeno respecto a las aves no tratadas. [Jarred et al. \(2019\)](#), incluyeron 500 y 1000 ppm de glutamina en la dieta de los pollos de 21 días de edad, donde reportaron incremento en la longitud de las vellosidades en yeyuno y una menor profundidad de la cripta respecto a pollos no tratados con glutamina. Sin embargo, otros autores como [Wu et al. \(2018\)](#) no encontraron un incremento significativo en la longitud de las vellosidades intestinales de yeyuno e íleon a los 4, 7, 14 y 21 días de edad, al adicionar 500 y 1000 ppm de glutamina en dietas maíz-soya. Estos autores no reportaron la longitud de las vellosidades en duodeno.

En la presente investigación, la respuesta inmune celular mediante la prueba de hipersensibilidad tardía basofílica evaluada los 21 días de edad de los pollos, fue mayor al incluir AG, lo cual indica que estos aminoácidos al ser consumidos por los pollos promovieron una mayor respuesta inmune celular tal como lo indican algunos estudios como el de [Bortoluzzi et al. 2018](#). [Liu et al. \(2020\)](#) indican que la inclusión de glutamina en la dieta de pollos de 1-21 días, incrementaron el número de linfocitos intraepiteliales,



número de células goblet y menor profundidad de la cripta en yeyuno e íleon, comparado con pollos infectados con *Salmonella enteritidis*; pero no fue mejor que el grupo control. En otro estudio realizado por Wu *et al.* (2021), reportan que la inclusión de glutamina a 500 y 1000 ppm en la dieta de los pollos en crecimiento incrementó el número de linfocitos intraepiteliales en duodeno y yeyuno, el índice fagocítico de heterófilos, número de células goblet y el contenido de inmunoglobulinas (IgA, IgG e IgM) en la mucosa intestinal y suero. Sin embargo, en dichos estudios no evaluaron la prueba de hipersensibilidad tardía basofílica en tejido subcutáneo interdigital, para poder comparar los resultados de esta prueba realizada en la presente investigación.

Finalmente, la mayoría de las investigaciones realizadas en pollos de engorda, indican que la adición de dosis elevadas (1000 a 4000 ppm) de AminoGut en la dieta, mejora los parámetros productivos, la salud intestinal al promover una mayor longitud e integridad de las vellosidades intestinales.

En el presente trabajo, se encontró que la inclusión de 700 ppm de AminoGut en la dieta de los pollos de 1-21 días de edad, mejoró el comportamiento productivo y la respuesta inmune celular y humoral.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y bajo las condiciones experimentales empleadas en este estudio, se puede concluir: el empleo de 700 ppm de AminoGut en dietas sorgo + soya, durante los primeros 21 días de edad, tuvo un efecto promotor, al mejorar la ganancia de peso, peso de la canal y el índice de conversión en pollos de engorda Ross 308 a los 49 días de edad. La longitud de las vellosidades intestinales a los 35 días de edad, fue mayor; también con la inclusión de 700 ppm de AminoGut en dietas sorgo-soya para pollos de engorda. La inclusión de 700 ppm de AminoGut, incrementó la respuesta inmune celular de las aves, al desafío por hipersensibilidad cutánea basofílica.

## LITERATURA CITADA

BAREKATAIN R, Chrystal PV, Howart GSW, McLaughlan CJ, Gilani S, Nattrass GS. 2019. Performance, intestinal permeability, and gene expression of selected tight junction proteins in broiler chickens fed reduced protein diets supplemented with arginine, glutamine, and glycine subjected to a leaky gut model. *Poultry Science*. 98(12):6761-6771. ISSN 0032-5791. <https://doi.org/10.3382/ps/pez393>



BARTELL SM, Batal A B. 2007. The effect of supplemental glutamine on growth performance, development of the gastrointestinal tract, and humoral immune response of broilers. *Poultry Science* 86(9):1940–1947. ISSN 0032-5791.

<https://doi.org/10.1093/ps/86.9.1940>

BORTOLUZZI C, Rochell SJ, Applegate TJ. 2018. Threonine, arginine, and glutamine: Influences on intestinal physiology, immunology, and microbiology in broilers. *Poultry Science*. 97(3):937-945. ISSN 0032-5791. <https://doi.org/10.3382/pex394>

CUCA GM, Ávila GE, Pro MA. 2009. *Alimentación de las aves*. Edo. México, México: Universidad Autónoma de Chapingo. ISBN: 978-607-12-0038-9.

ESTRADA FE, Peralta ZL, Rivas MP. 1982. *Manual de técnicas Histológicas*. AGT Editor, Sa, México. ISBN: 9789684630109. JOHN D, Christopher L. 2019. *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques*. United Kingdom: Elsevier. ISBN: 9780702068874. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-6864-5.00010-4>

GÓMEZ VG, López CC, Maldonado BC, Avila GE. 2010. El sistema inmune digestivo de las aves. *Investigación y Ciencia*. 18(48):9-16.

<https://biblat.unam.mx/hevila/InvestigacionycienciaUniversidadautonomadeaguascalientes/2010/vol18/no48/2.pdf>

HU H, Bai X, Wen A, Shah AA, Dai S, Ren Q, Wang S, He S, Wang L. 2016. Assessment of interaction between glutamine and glucose on meat quality, AMPK, and glutamine concentration in pectoralis major meat of broilers under acute heat stress. *Journal Applied Poultry Research*. 25(3):370-378. ISSN 1056-6171.

<https://doi.org/10.3382/japr/pfw021>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017. Anuario estadístico y geográfico de la Ciudad de México. México.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094683>

JARRED HO, Ramesh KS. 2019. Effects of glutamine supplementation on broiler performance and intestinal immune parameters during an experimental coccidiosis infection. *Journal Applied Poultry Research*. 28(4):1279-1287. ISSN 1056-6171.

<https://doi.org/10.3382/japr/pfz095>



KRISELDI R, Tillman PB, Jiang Z, Dozier WA. 2017. Effects of glycine and glutamine supplementation to reduces crude protein diets on growth performance and carcass characteristics of male broilers during a 41-day production period. *Journal Applied Poultry Research*. 26(4):558-572. ISSN 1056-6171. <https://doi.org/10.3382/japr/pfx030>

LEESON S, Summers JD. 2005. Comercial poultry nutrition. 3<sup>ra</sup> ed. Guelph, Ontario Canadá: University Books. ISBN: 190476178X.

LIU Z, Wu Q, Jiao C, Cheng B, Zhu D, Ma Y, Li Y, Li W. 2020. Effects of glutamine on the mucosal structure and immune cells in the intestines of broiler chickens challenged with *Salmonella enteritidis*. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 22 (3):1-10. ISSN 1806-9061. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1270>

MIGUEL IJ, Cortes CA, Ávila GE. 2009. Evaluación de la mezcla de diferentes niveles de glutamina en dietas sorgo- soya para pollos de engorda. Tesis de licenciatura, FMVZ-UNAM, México D, F. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000639580](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000639580)

MORALES LB. 2013. El uso de ácidos orgánicos en dietas para gallina, efecto en el pH intestinal, rendimiento productivo, tiempo de tránsito e integridad intestinal. (Tesis de maestría). México (D.F.) UNAM. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000689703](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000689703)

NOM-033-SAG/ZOO-2014. Norma Oficial Mexicana. Sacrificio humanitario de las aves. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-033-sag-zoo-2014-metodos-para-dar-muerte-a-los-animales-domesticos-y-silvestres>

OLUBODUN JO, Zukkifli I, Farjam AS, Hair-Bejo M, Kasim A. 2015. Glutamine and glutamic acid supplementation enhances performance of broiler chickens under the hot and humid tropical condition. *Italian Journal Animal Science*. 14:25-29. ISSN 1828-051X. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3263>

PELICIA VCI, Stradiotti AC, Araujo PC de, Maruno MK, Carvalho FB de, Pezzato AC, Sartori JR. 2013. Phytogenic additives and glutamine plus glutamic acid in broiler diets. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 15 (4):295-300. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2013000400002>

QUINTANA JA. 2011. Avitecnia. Manejo de las Aves Domésticas más comunes. 4<sup>a</sup> ed. México. Trillas. ISBN: 6071708117.



SHAKERI M, Zulkifli I, Solieimani AF, O'Reilly EL, Eckersall PD, Anna AA, Kumari S, AbdullahFFJ. 2014. Response to dietary supplementation of L-glutamine and L-glutamate in broilerchickens reared at different stocking densities under hot, humid tropical conditions. *Poultry Science*. 93(11):2700-2708. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03910>

WU QJ, Liu N, Wu XH, Wang GY, Lin L. 2018. Glutamine alleviates heat stress-induced impairment of intestinal morphology, intestinal inflammatory response, and barrier integrity in broilers. *Poultry Science*. 97(8):2675-2683. <https://doi.org/10.3382/ps/pey123>

WU Q, Liu Z, Li S, Jiao C, Wang Y, Wang Y. 2019. Effects of glutamine on digestive function and redox regulation in the intestine of broiler chickens challenged with *Salmonella enteritidis*. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 21 (4):1-10. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1123>

WU QJ, Liu ZH, Jiao C, Cheng BY, Li SW, Ma Y, Wang YQ, Wang Y. 2021. Effects of glutamine on lymphocyte proliferation and intestinal mucosal immune response in heat-stressed broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 23 (4): 1-10. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1207>

XI B, Sifa D, Jiaqi L, Shuangshuang X, Aiyu W, Hong H. 2019. Glutamine improves the growth performance, serum biochemical profile and antioxidant status in broilers under médium-term chronic heat stress. *Journal Applied Poultry Research*. 23(4):1248-1254. ISSN 1056-6171. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz091>

XUE GD, Barekatin R, Wu SB, Choct M, Swick RA. 2018. Dietary L-glutamine supplementation improves growth performance, gut morphology, and serum biochemical indices of broiler chickens during necrotic enteritis challenge. *Poultry Science*. 97(4):1334-1341. ISSN 0032-5791. <https://doi.org/10.3382/ps/pex444>

ZULKIFLI I, Shakeri M, Soleimani AF. 2016. Dietary supplementation of L-glutamine and L-glutamate in broiler chicks subjected to delayed placement. *Poultry Science*. 95(12):2757-2763. ISSN 0032-5. <https://doi.org/10.3382/ps/pew267>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-20. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.2>  
Artículo Original. Recibido:25/07/2022. Aceptado:20/04/2024. Publicado:05/05/2024. Clave: e2022-56.  
<https://www.youtube.com/watch?v=0EuXyc7MobQ>

## Fermentación y digestibilidad ruminal *in vitro* de ensilados de *Sorghum bicolor* y *Cajanus cajan*

*In vitro* rumen fermentation and digestibility of silages of *Sorghum bicolor* and *Cajanus cajan*



Esaú Pérez-Luna<sup>1\*</sup> ID, Samuel Albores-Moreno<sup>2</sup> ID, Alexis Ruíz-González<sup>4</sup> ID, Sergio Espinosa-Villafuerte<sup>5</sup> ID, José Alayón-Gamboa<sup>3</sup> ID, Benigno Ruíz-Sesma<sup>6</sup> ID

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Carretera Ocozocoautla-Villaflores km. 84.5. C.P. 30470. Chiapas, México. <sup>2</sup>El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Agricultura, Sociedad y ambiente, Ganadería Sustentable y Cambio Climático, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n. C.P. 29290. Barrio María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. <sup>3</sup>El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Conservación de la Biodiversidad, Avenida Rancho, Polígono 2-A, Ciudad Industrial. C.P. 24500. Lerma, Campeche, México. <sup>4</sup>Département des Sciences Animales, Université Laval, Québec, QC, Canada. <sup>5</sup>Consultor de Qualisilo S. A. de C.V., Calle Lyon número 160, Fraccionamiento La Salle segunda sección. C.P. 29070. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. <sup>6</sup>Universidad Veracruzana, Área Biológico Agropecuaria, Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria. \*Autor de correspondencia: Esaú Pérez Luna. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas, Carretera Ocozocoautla-Villaflores km. 84.5. C.P. 30470 Chiapas, México. Email: eperezl@unach.mx, samuel.albores@ecosur.mx, alexis.ruiz-gonzalez.1@ulaval.ca, sergio.zootecnista82@gmail.com, jalayon@ecosur.mx, ruizsb71@gmail.com

### RESUMEN

El sistema de producción bovino de doble propósito es el más predominante en el trópico, caracterizado por un sistema de pastoreo extensivo de gramíneas nativas o introducidas con baja digestibilidad y altas concentraciones de carbohidratos estructurales, provocando con esto una baja eficiencia productiva de los sistemas, ante este escenario, es necesario buscar alternativas que mejoren la eficiencia productiva. El objetivo fue evaluar la fermentación anaeróbica y digestibilidad ruminal *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los ensilados de *S. bicolor* y *C. cajan*. En los tratamientos se utilizaron cuatro sustratos (sorgo, sorgo + *C. cajan*, *C. cajan*, sorgo + *C. cajan* + inoculante) y cuatro tiempos de fermentación anaeróbica (0, 30, 60 y 90 días), en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4x4, con tres repeticiones. El promedio de MS, MO, PC, FDN y FDA fue 373.9±41.43; 960.58±7.59; 87.82±24.95; 588.73±51.17; 371.76±61.39 g kg<sup>-1</sup> de MS. Para la DIVMS fue de 56.32±9.05%. Se encontró diferencias significativas (P<0.05) para los parámetros de fermentación y DIVMS. El volumen máximo de gas se presentó en los tratamientos que contenían únicamente sorgo y sorgo + *C. cajan* + inoculante. Las fracciones de rápida fermentación fueron mayores (P<0.05) en los tratamientos sorgo + *C. cajan* + inoculante. Las fracciones de fermentación media y lenta fueron mayores en sorgo y sorgo + *C. cajan* + inoculante. Se concluye que la planta de *C. cajan* sola o combinada presenta un efecto negativo en la DIVMS.

**Palabras clave:** sorgo, guandú, inoculante, fermentación anaeróbica, digestibilidad *in vitro*.



## ABSTRACT

The dual-purpose cattle production system is the most predominant in the tropics, characterized by an extensive grazing system of native or introduced grasses with low digestibility and high concentrations of structural carbohydrates, causing with this a low productive efficiency of the systems, in this scenario, it is necessary to look for alternatives that improve productive efficiency. The objective was to evaluate the anaerobic fermentation and rumen digestibility in vitro of dry matter (DIVMS) of silages of *S. bicolor* and *C. cajan*. Four substrates (sorghum, sorghum + *C. cajan*, sorghum + *C. cajan* + inoculant) and four anaerobic fermentation times (0, 30, 60 and 90 days) were used in the treatments, in a completely randomized design with a 4x4 factorial arrangement, with three replications. The average for DM, OM, CP, NFD and AFD was 373.9±41.43; 960.58±7.59; 87.82±24.95; 588.73±51.17; 371.76±61.39 g kg<sup>-1</sup> DM. For DIVMS it was 56.32±9.05%. Significant differences (P<0.05) were found for fermentation parameters and DIVMS. The maximum volume of gas was presented in treatments containing only sorghum and sorghum + *C. cajan* + inoculant. The fractions of rapid fermentation were higher (P<0.05) in the treatments sorghum + *C. cajan* + inoculant. The fractions of medium and slow fermentation were higher in sorghum and sorghum + *C. cajan* + inoculant. It is concluded that the *C. cajan* plant alone or combined has a negative effect on DIVMS.

**Keywords:** sorghum, *Cajanus cajan*, inoculant, anaerobic fermentation, in vitro digestibility.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las principales actividades del sector agropecuario en México, la cual se realiza bajo diferentes condiciones y sistemas de producción (García *et al.*, 2015). En este sentido, uno de los sistemas de producción más comunes, es la producción de bovinos con un doble propósito bajo pastoreo de regiones extensas de praderas (Estrada *et al.*, 2018) con gramíneas nativas o introducidas (Kú *et al.*, 2013). No obstante, la calidad nutritiva de los forrajes muestra una baja concentración de proteína cruda y alta concentración de carbohidratos estructurales, lo cual induce a una baja digestibilidad (Piñeiro *et al.*, 2017). Además, por las condiciones climáticas, la biomasa de forraje producida es limitada, en particular durante el estiaje (escasez de lluvias y altas temperaturas), lo que repercute en la disponibilidad de forraje propiciando la estacionalidad de la producción de leche y carne (García, 2018).

Esto ha impulsado la búsqueda de nuevos materiales forrajeros o estrategias de alimentación que satisfagan las necesidades nutricionales de los animales y con esto establecer un sistema de cosecha uniforme asegurando un nivel de producción constante durante el año. Además, de las condiciones climáticas adversas, el manejo inadecuado de los pastizales nativos e introducidos en las regiones tropicales ha sido considerado uno de los principales problemas que limita la productividad de las empresas ganaderas (Kú *et al.*, 2013). Una carga animal superior a la capacidad de carga del pastizal y la ineficiencia de administración del forraje producido, provocan la sobre utilización de la pradera y conducen al sobre pastoreo propiciando la invasión de malezas o pastos de menor valor forrajero, y severas deficiencias nutricionales en el suelo (Villanueva, 2015). Recientemente se han propuesto estrategias para contrarrestar dichos efectos (estacionalidad de la producción de forraje, baja calidad nutritiva y efectos en el suelo); tales como la segregación de potreros, la conservación de los excedentes forrajeros



durante el periodo de lluvias, además, todas las modalidades agroforestales, agropastoriles, agrosilvopastoriles o mediante el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) (González *et al.*, 2015).

En los últimos años ha sugerido el establecimiento de Sistemas Integrados de Producción Agrícola (SIPA) que están basados en actividades agrícolas, ganaderas y forestales, realizadas en la misma área, ya sea en cultivos asociados, de sucesión o rotación, que buscan efectos sinérgicos entre los componentes del agroecosistema, contemplando la adecuación ambiental, la valorización del productor y la viabilidad económica (Balbino *et al.*, 2011). Consecuentemente, se mejora la interrelación suelo-planta-clima-animal, los cuales contribuyen a determinar de forma específica el hábitat de cada uno de los organismos que conforman los sistemas biológicos y de flujo de energía, ya sea que pertenezcan los sistemas agrícolas, pecuarios o forestales (Torres *et al.*, 2007).

Los SIPA pueden integrar actividades ganadera-forestal (IGF) o silvopastoril: integra el componente ganadero (pastoreo y animal) y forestal, en consorcio. Sistema más enfocado para áreas con restricción de implantación de cultivos, incluyendo sólo los componentes forestales y pecuarios en la misma área. Los cuales pueden ser utilizados como estrategia de alimentación en pastoreo, corte y acarreo, y también ser conservados (ensilado) para utilizarlos durante los períodos de estiaje (Mannetje, 1982).

En el sur de México, particularmente Chiapas, cuenta con las características edafoclimáticas para el establecimiento y uso de esta estrategia, que permitirá mejorar la producción de bovinos. Sin embargo, se ha generado escasa información sobre las asociaciones de los forrajes tropicales que han sido recientemente integrados en los sistemas de alimentación de rumiantes.

Por tanto, es imprescindible investigar la asociación cultivo-ganado o agro pastoril: sistema de producción que integra el componente agrícola y ganadero en rotación, consorcio o sucesión en la misma área y en un mismo año agrícola o por varios años, en secuencia o intercalados. Debido a que se desconocen aspectos importantes de manejo, establecimiento, producción y formas de conservación de los nuevos forrajes mediante ensilaje (Balbino *et al.*, 2011). El ensilaje ayuda a mantener follajes con poca pérdidas de MS y de nutrientes, manteniendo una buena palatabilidad por el ganado (Gómez *et al.*, 2015). En este sentido, el ensilaje de las asociaciones entre gramíneas y leguminosas, han tomado importancia, debido a que, a través de esta técnica, se incrementa el aporte de proteína al sistema ruminal, además que permiten aprovechar y conservar el forraje que podría ser usado durante el estiaje (Contrera *et al.*, 2008).

Estudios señalan que la composición química del ensilado de la asociación *S. bicolor* L. Moench Cv RB Cañero y *C. cajan* Cv Caqui, presenta potencial alimenticio para la alimentación de rumiantes (Pérez-Luna *et al.*, 2019). Sin embargo, en la literatura todavía no se cuenta con información concerniente a las características de fermentación y valor nutritivo, además se desconoce la edad óptima de aprovechamiento de estos sustratos en la alimentación de los rumiantes. Por lo que, en el presente estudio se planteó como



objetivo evaluar la degradación y el potencial de fermentación *in vitro* del ensilado de *S. bicolor* L. Moench Cv RB Cañero y *C. cajan* cv Caqui en un sistema integrado de producción.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del área del estudio

El experimento se realizó en el Rancho “Loma Bonita”, municipio de Villaflores, Chiapas. México, con clima predominante cálido subsúmelo intermedio Aw” 1 (w) (i) g con lluvias en verano, precipitación medida de 1200 mm, con una temperatura media anual de 22°C (INEGI, 2017).

### Establecimiento y manejo de los cultivos

Para el establecimiento de los cultivos de sorgo y guandú se movilizó una capa de suelo de aproximadamente 5 cm para el control de las malezas. La siembra de sorgo se realizó a una profundidad de 2.5 cm (dos semillas por punto) con una sembradora de precisión, a una distancia de 50 cm entre hileras y 4 cm entre plantas, con una densidad de 250 000 plantas por ha<sup>-1</sup>; para guandú, a una distancia de 50 cm entre hileras y 14 cm entre plantas, con una densidad de 71 428 plantas por ha<sup>-1</sup>.

Los cultivos fueron fertilizados al boleto con la formula 300-150-50 para el sorgo y 100-150-50 para guandú de N-P-K. El N fue distribuido al 50% en dos aplicaciones a los 5 y 35 días después de la siembra.

Esporádicamente se controló las malezas y el control químico de plagas y enfermedades en concentraciones recomendadas por el distribuidor. Durante el desarrollo del cultivo únicamente se encontró *Melanaphis sacchari* en el sorgo, para ello, se utilizó Cipermetrina a razón de 1.5 l ha<sup>-1</sup>, cada vez que se observó la presencia de dicha plaga.

### Elaboración de micro silos

Con una ensiladora de doble surco se realizó el corte y picado de los cultivos a un tamaño de partícula uniforme (2 a 3 cm de longitud). Al momento de la cosecha, se tomaron muestras de cada uno de los tratamientos y se depositaron en botellas de plástico (Pet), con capacidad de un litro, extrayendo de cada una de ellas la mayor cantidad de oxígeno para asegurar una buena fermentación anaeróbica del forraje.

El ensilaje se elaboró a los 85 días después de la siembra. Después de pasar cada sustrato y sus combinaciones en sus diferentes tiempos de ensilaje de acuerdo al tratamiento asignado, las muestras de cada tratamiento fueron colectadas, secadas y molidas, y enviadas al laboratorio de Bromatología del Colegio de la Frontera Sur para los análisis de materia seca (MS), las muestras fueron colocadas en un horno de aire forzado a una temperatura de 60 °C por 48 h, materia orgánica (MO) por la combustión de las muestras en mufla a 600 °C durante 6 h, proteína cruda (PC) determinado por el método de Kjeldahl (CP, AOAC, 1996; ID 954.01), fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991), (Cuadro 1), y en el Laboratorio de



Ecología de herbívoros del mismo Centro, se realizaron las pruebas de fermentación con la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por [Menke & Steingass \(1988\)](#) y [Theodorou \*et al.\* \(1994\)](#)

### **Técnica de degradación y fermentación *in vitro***

Se empleó la técnica de producción de gas propuesta por [Menke & Steingass \(1988\)](#) y modificada por [Theodorou \*et al.\* \(1994\)](#), con la que se cuantificó el gas producido por la fermentación *in vitro* durante 72 h de incubación. Los tratamientos fueron muestras de sorgo, sorgo+guandú, guandú y sorgo+guandú+inoculante (Sill-All 4x4 Lallemand), de 4 tiempos de ensilaje (0, 30, 60 y 90 días), resultando 16 posibles combinaciones (Cuadro 1), cada combinación fue repetida 3 veces. El inóculo consistió de una muestra compuesta de líquido ruminal (LR) obtenida de tres ovinos (40 kg de PV) por medio de una sonda esofágica y alimentados con una dieta base de forraje. Previo a la extracción del LR, los animales se mantuvieron en ayuno durante 14 horas. El LR se filtró a través de ocho capas de gasa y se mezcló en una proporción 1:9 con una solución mineral reducida ([Menke & Steingass, 1988](#); [Krishnamoorthy \*et al.\*, 2005](#)).

Para cada combinación se pesó 500 mg de muestra seca y molida, la cual fue depositada en frascos ámbar de 125 mL de capacidad, a los cuales se les agregó 90 mL de inóculo ruminal y se mantuvieron bajo flujo constante de CO<sub>2</sub>, posteriormente fueron sellados herméticamente con tapones de goma y aro de aluminio ([Theodorou \*et al.\*, 1994](#)). Los frascos fueron incubados a 39 °C en baño maría. La presión de gas en cada frasco fue medida con un manómetro (Metron, Mode:63100, México) a las 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h posteriores a su incubación ([Blümmel & Ledzien, 2001](#)).

Los valores de presión de gas fueron transformados a volumen de gas mediante una ecuación de regresión lineal:  $V = (P + 0.0186) (0.0237)^{-1}$  ([Elmasry \*et al.\*, 2016](#)).

### **Variables evaluadas**

#### **Producción de gas *in vitro***

Se estimó el volumen máximo ( $V_m$ , mL g<sup>-1</sup>), la tasa de fermentación ( $S$ , h<sup>-1</sup>) y la fase de retraso ( $L$ , h<sup>-1</sup>) de la producción de gas con el modelo logístico  $V_o = V_m / (1 + e^{(2-4k)(t-L)})$  ([Schofield & Pell, 1995](#)), mediante el programa NLIN ([SAS, 2006](#)). También se obtuvieron los volúmenes para los intervalos de tiempo de 0 a 8 ( $V_{f0-8}$ ), 8 a 24 ( $V_{f8-24}$ ) y 24 a 72 ( $V_{f24-72}$ ) h de incubación. Estos volúmenes fueron utilizados para estimar las fracciones (mg g<sup>-1</sup> de forraje) de rápida (FR), media (FM) y lenta (FL) fermentación de sustratos, de acuerdo a las ecuaciones de regresión lineal propuestas por [Miranda \*et al.\* \(2015\)](#):  $FR = V_{f0-8} / 0.4266$ ,  $FM = V_{f8-24} / 0.6152$ ,  $FL = V_{f24-72} / 0.3453$ . La suma de las tres fracciones fue considerada como la fracción fermentable total (FT). Además, se estimó el índice de potencial de emisiones de gas por gramo de materia orgánica digestible (IPEGF; mL g<sup>-1</sup> MOD).



**Cuadro 1. Distribución de los tratamientos**

Sustratos	Días de ensilado	Repeticiones		
<b>Sorgo (S)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3
<b>Sorgo + Guandú (S+G)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3
<b>Guandú (G)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3
<b>Sorgo+Guandú+ Inoculante (S+G+I)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3

### **Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)**

Al concluir el período de incubación (72 h) se obtuvieron los residuos de cada muestra mediante filtrado en un matraz y un embudo Buchner con filtro (Papel filtro F/rápido MOD.617 Código P.V.NO.1034), y se estimó la DIVMS, mediante su secado a 60 °C por 48 h. Con la MS inicial y residual se calculó la DIVMS (%) ([Monforte et al., 2005](#)).

### **Diseño y análisis estadístico**

Las variables de fermentación (Vm, S, L, FR, FM, FL, FT, IPEGF, DIVMS) se analizaron con el modelo lineal general empleando el paquete estadístico [SAS versión 9 \(2006\)](#), bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4x4, con medidas repetidas en el tiempo. Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento. Las medias de las 16 combinaciones se compararon mediante comparaciones múltiples de Tukey y las pruebas estadísticas se consideraron significativas cuando  $P < 0.05$  ([Montgomery, 2013](#)). Se realizó un análisis de correlación de Pearson para los componentes químicos (PC, FDN, FDA) y las variables de fermentación; y un análisis de regresión lineal para la DIVMS y la fracción fermentable total.

## **RESULTADOS**

### **Composición química**

La caracterización química de los tratamientos se presenta en el cuadro 2. El promedio de MS, MO, PC, FDN y FDA fue  $373.9 \pm 41.43$ ;  $960.58 \pm 7.59$ ;  $87.82 \pm 24.95$ ;  $588.73 \pm 51.17$ ;  $371.76 \pm 61.39$  g kg<sup>-1</sup> de MS. Para la DIVMS fue de  $56.32 \pm 9.05$  %.



**Cuadro 2. Composición química proximal de los tratamientos experimentales (g/kg)**

TRATAMIENTO	MS	MO	PC	FDN	FDA
S 0	439.0	953.2	62.1	605.5	339.6
S 30	399.0	966.2	80.5	538.8	286.0
S 60	379.1	964.4	73.4	541.1	294.5
S 90	355.3	960	69.8	586.9	369.6
S+G 0	376.3	970.3	53.0	484.5	295.4
S+G 30	350.7	966.3	78.8	626.1	354.0
S+G 60	349.0	962.4	82.1	622	373.2
S+G 90	306.2	964.2	80.8	610	382.4
G 0	379.6	956.2	112.5	587.7	404.5
G 30	372.2	952.6	135.8	657.8	489.7
G 60	401.8	950	130.8	637.3	468.2
G 90	444.5	944.1	122.9	624.5	450
S+G+I 0	358.3	969.3	64.2	499.2	309.1
S+G+I 30	407.4	966	81.7	581.9	374
S+G+I 60	377.7	966.7	80.2	568.3	351.9
S+G+I 90	286.8	957.3	96.5	648.1	406.1
Media	373.93	960.58	87.82	588.73	371.76
DE	41.43	7.59	24.95	51.17	61.39

### **Cinética de fermentación de gas *in vitro***

Para las variables Vm y S no se encontró interacción entre factores, sin embargo, la variable L sí presentó interacción entre factores (Cuadro 3). Los sustratos con el mayor Vm fueron sorgo con 317.37, 297.8, 294.57, 264.17 mL g<sup>-1</sup>, respectivamente, a tiempos de 0, 30, 60 y 90 días de fermentación anaeróbica y la combinación de sorgo+guandú+inoculante con 289.47, 269.63 y 266.6 mL g<sup>-1</sup>, a tiempos de 0, 30 y 60 días de fermentación anaeróbica, respectivamente. Por otra parte, los tratamientos que se caracterizaron por una producción media de gas fueron sorgo+guandú y guandú con tiempos de ensilaje de 0, 30, 60 y 90 días; Cuadro 3).



**Cuadro 3. Parámetros de la cinética de producción de gas, fracciones de fermentación, digestibilidad *in vitro* de la materia seca e índice potencial de emisión de gas (IPEGF) de ensilaje de *Sorghum bicolor* L. Moench Cv RB Cañero y *Cajanus cajan* Cv Caqui con diferentes tiempos de ensilado**

Trat	Parámetros			Fracciones de Fermentación				DIVMS (%)	IPEGF mL g <sup>-1</sup> MSD
	Vm (mL g <sup>-1</sup> )	S (h <sup>-1</sup> )	L (h)	FR	FM	FL	FT		
S 0	317.4 <sup>a</sup>	0.036 <sup>bcd</sup>	4.6 <sup>a</sup>	152.1 <sup>c</sup>	243.4 <sup>a</sup>	388.9 <sup>a</sup>	784.4 <sup>a</sup>	67.2 <sup>ab</sup>	473.8 <sup>ab</sup>
S 30	294.6 <sup>ab</sup>	0.038 <sup>abcd</sup>	4.8 <sup>a</sup>	139.8 <sup>cde</sup>	233.3 <sup>a</sup>	349.6 <sup>ab</sup>	722.7 <sup>ab</sup>	72.1 <sup>a</sup>	408.3 <sup>ab</sup>
S 60	297.8 <sup>ab</sup>	0.039 <sup>abcd</sup>	4.2 <sup>ab</sup>	155.4 <sup>c</sup>	236.7 <sup>a</sup>	334.3 <sup>abc</sup>	726.5 <sup>ab</sup>	66.6 <sup>ab</sup>	447.2 <sup>ab</sup>
S 90	264.2 <sup>abcde</sup>	0.040 <sup>abcd</sup>	4.3 <sup>ab</sup>	137.4 <sup>cde</sup>	215.6 <sup>ab</sup>	287.6 <sup>bcd</sup>	640.5 <sup>bcde</sup>	60.4 <sup>abc</sup>	437.3 <sup>ab</sup>
S+G 0	247.9 <sup>bcdef</sup>	0.043 <sup>a</sup>	3.0 <sup>dc</sup>	168.6 <sup>bc</sup>	197.3 <sup>bc</sup>	227.6 <sup>cde</sup>	593.6 <sup>bcdef</sup>	63.2 <sup>abc</sup>	393.4 <sup>b</sup>
S+G 30	240.3 <sup>cdef</sup>	0.041 <sup>abcd</sup>	3.9 <sup>abc</sup>	138.2 <sup>cde</sup>	190.5 <sup>bc</sup>	256.1 <sup>cde</sup>	584.7 <sup>cdefg</sup>	60.7 <sup>abc</sup>	396.1 <sup>b</sup>
S+G 60	219.5 <sup>defg</sup>	0.041 <sup>abcd</sup>	3.2 <sup>dc</sup>	137.4 <sup>cde</sup>	173.4 <sup>cd</sup>	225.6 <sup>def</sup>	536.3 <sup>defgh</sup>	54.2 <sup>cde</sup>	407.2 <sup>ab</sup>
S+G 90	244.1 <sup>bcdef</sup>	0.039 <sup>abcd</sup>	3.5 <sup>bcd</sup>	143.9 <sup>cde</sup>	186.5 <sup>bc</sup>	266.2 <sup>cde</sup>	596.7 <sup>bcdef</sup>	54.3 <sup>cde</sup>	448.1 <sup>ab</sup>
G 0	214.7 <sup>efg</sup>	0.042 <sup>ab</sup>	2.7 <sup>d</sup>	148.9 <sup>cd</sup>	168.8 <sup>cd</sup>	197.1 <sup>ef</sup>	514.8 <sup>efgh</sup>	55.7 <sup>bcde</sup>	385.9 <sup>b</sup>
G 30	185.3 <sup>g</sup>	0.040 <sup>abcd</sup>	3.3 <sup>dc</sup>	111.9 <sup>de</sup>	144.3 <sup>de</sup>	197.1 <sup>ef</sup>	453.3 <sup>gh</sup>	44.3 <sup>ef</sup>	418.0 <sup>ab</sup>
G 60	166.9 <sup>g</sup>	0.042 <sup>abc</sup>	3.2 <sup>dc</sup>	109.4 <sup>e</sup>	128.9 <sup>e</sup>	170.7 <sup>f</sup>	409.0 <sup>h</sup>	39.5 <sup>f</sup>	446.5 <sup>ab</sup>
G 90	196.7 <sup>fg</sup>	0.041 <sup>abcd</sup>	2.8 <sup>d</sup>	137.4 <sup>cde</sup>	147.7 <sup>de</sup>	194.1 <sup>ef</sup>	479.2 <sup>fgh</sup>	46.5 <sup>def</sup>	423.8 <sup>ab</sup>
S+G+I 0	289.5 <sup>abc</sup>	0.037 <sup>abcd</sup>	0.0 <sup>f</sup>	262.4 <sup>a</sup>	185.9 <sup>bc</sup>	268.3 <sup>cde</sup>	716.6 <sup>abc</sup>	58.2 <sup>bcd</sup>	498.7 <sup>ab</sup>
S+G+I 30	269.6 <sup>abcd</sup>	0.036 <sup>cd</sup>	1.4 <sup>e</sup>	199.0 <sup>b</sup>	183.6 <sup>bc</sup>	284.5 <sup>bcd</sup>	667.2 <sup>abcd</sup>	59.3 <sup>bc</sup>	455.2 <sup>ab</sup>
S+G+I 60	266.6 <sup>abcde</sup>	0.035 <sup>d</sup>	0.9 <sup>ef</sup>	206.4 <sup>b</sup>	181.9 <sup>c</sup>	277.4 <sup>bcd</sup>	665.8 <sup>abcd</sup>	53.6 <sup>cde</sup>	499.0 <sup>ab</sup>
S+G+I 90	245.1 <sup>bcdef</sup>	0.036 <sup>cd</sup>	1.6 <sup>e</sup>	172.7 <sup>bc</sup>	171.7 <sup>cd</sup>	269.3 <sup>cde</sup>	613.7 <sup>bcde</sup>	45.4 <sup>ef</sup>	540.1 <sup>a</sup>
EE	10.33	0.0011	0.180	7.42	6.35	14.95	25.44	2.31	27.35
Sustrato	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003
Días ensilado	0.0007	0.4980	0.0001	0.0001	0.0005	0.1408	0.0014	0.0001	0.1695
Sustrato*Días de ensilado	0.0983	0.1357	0.0011	0.0001	0.0708	0.0122	0.0771	0.0089	0.5941

FACTOR A	Sustratos				EE
	Sorgo	Sorgo+Guandu	Guandu	Sorgo+Guandu+Inoculante	
Vm (mL g <sup>-1</sup> )	293.47 <sup>a</sup>	237.96 <sup>c</sup>	190.90 <sup>d</sup>	267.70 <sup>b</sup>	6.54
S (h <sup>-1</sup> )	0.0383 <sup>b</sup>	0.0410 <sup>a</sup>	0.0414 <sup>a</sup>	0.0360 <sup>c</sup>	0.0006
FM (mg g <sup>-1</sup> )	232.236 <sup>a</sup>	186.931 <sup>b</sup>	147.435 <sup>c</sup>	180.800 <sup>b</sup>	4.09
FT (mg g <sup>-1</sup> )	718.50 <sup>a</sup>	577.83 <sup>c</sup>	464.07 <sup>d</sup>	665.82 <sup>b</sup>	15.96
IPEGF (mL g <sup>-1</sup> MSD)	441.67 <sup>b</sup>	411.20 <sup>b</sup>	418.56 <sup>b</sup>	498.28 <sup>a</sup>	13.80
FACTOR B	Tiempos de ensilado (días fermentación)				EE
	0	30	60	90	
Vm (mL g <sup>-1</sup> )	267.358 <sup>a</sup>	247.450 <sup>b</sup>	237.708 <sup>b</sup>	237.533 <sup>b</sup>	12.71
S (h <sup>-1</sup> )	0.0399 <sup>a</sup>	0.0387 <sup>a</sup>	0.0392 <sup>a</sup>	0.0389 <sup>a</sup>	0.0008



FM (mg g <sup>-1</sup> )	198.87 <sup>a</sup>	187.92 <sup>ab</sup>	180.23 <sup>b</sup>	180.37 <sup>b</sup>	9.71
FT (mg g <sup>-1</sup> )	652.34 <sup>a</sup>	606.98 <sup>ab</sup>	584.40 <sup>b</sup>	582.51 <sup>b</sup>	32.05
IPEGF (mL g <sup>-1</sup> MSD)	437.98 <sup>a</sup>	419.42 <sup>a</sup>	449.98 <sup>a</sup>	462.34 <sup>a</sup>	16.54

<sup>a, b, c</sup>= Medias con distinta literal en columnas son diferentes ( $P < 0.05$ ); Vm= Volumen maximo; S: tasa de fermentación; L: fase de retraso; FR= fracción de fermentación rápida; FM=fracción de fermentación media; FL= fracción de fermentación lenta; FT=fracción fermentable total; DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca; IPEGF: Índice potencial de emisión de gas por unidad de materia orgánica digestible.

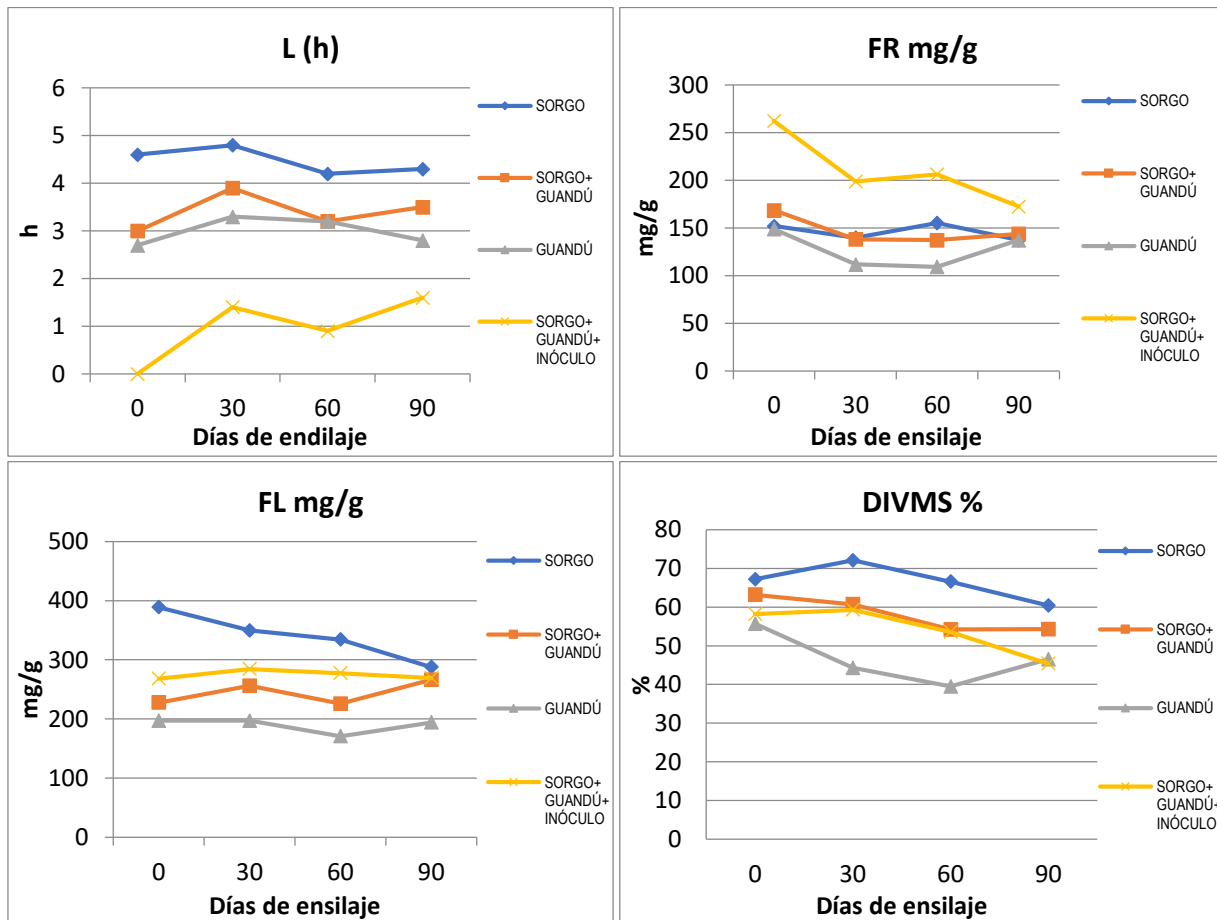


Figura 1. Interacción de sustrato y días de ensilaje en las variables L, FR, FL y DIVMS

Por otra parte, se observó la mayor tasa de fermentación (S) para S+G 0, y la más baja ( $P=0.0001$ ) la presentó S+G+I 60, en el resto de los tratamientos no se encontró diferencia estadística significativa.

La menor fase de retraso (L) se observó en el sustrato de la mezcla de S+G+I a 0, 30, 60 y 90 días de ensilaje, respectivamente. Asimismo, se encontró que la L intermedia fue similar entre G 0, G 90, S+G 60, S+G 0, G 60 y G 30, mientras que las mayores fases de



retraso se observaron en S 0 y S 30, y fueron similares entre S 90, S 60, S+G 30 y S+G 90 (Cuadro 3).

### **Tiempo de fermentación anaeróbica (FA)**

El volumen máximo (Vm) de producción de gas y la fase de retraso (L, h) (Cuadro 3) fue afectado significativamente ( $P < 0.05$ ) por los tiempos de FA (Cuadro 3). Sin embargo, la S no mostró cambios significativos ( $P > 0.05$ ) entre los tiempos de FA. El tiempo de fermentación con mayor Vm fue a los 0 días de FA ( $267 \text{ mL g}^{-1}$ ), el cual disminuyó al incrementar los días de FA (Cuadro 3).

La menor fase de retraso (L) se observó a los 0 días de fermentación (2.5962 h). Asimismo, se encontró una L intermedia a los 60 y 90 días de FA (2.91 y 3.08 h respectivamente); mientras que una mayor L se observó a los 30 días de FA (3.35 h).

### **Fracciones fermentables, digestibilidad e índice de potencial de emisión de gas**

La mezcla de sustratos S+G+I 0 presentó el mayor valor de la fracción de rápida fermentación (0-8 h) ( $P < 0.05$ ), seguidos de S+G+I a 30, 60 y 90 días de ensilaje, respectivamente (Cuadro 3). Asimismo, se encontró que el S+G+I 90 fue similar estadísticamente a todos los tratamientos que contenían el sustrato sorgo en sus diferentes tiempos de ensilaje, así como G 0 y G 90 (Cuadro 3). Por otro lado, se encontró que la fracción de fermentación media (8-24 h) también difirió ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos. La mayor fermentación media fue encontrada para el S a los 0, 30, 60 y 90 días de ensilaje, respectivamente. Los tratamientos G 90, G30 y G 60 presentaron una menor fermentación media de la MS.

Para la fracción de lenta fermentación (24-72 h), también se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos. El mayor valor de fermentación se observó en el S 0, seguido por S 30 y S 60. Mientras que los tratamientos que contenían sorgo como sustrato solo o combinado, presentaron fracciones de lenta fermentación similares (Cuadro 3). Además, los tratamientos de guandú solo en sus diferentes días de ensilaje presentaron menor valor de fermentación lenta.

El tratamiento que presentó ( $P < 0.05$ ) la mayor fracción de fermentación total (FT) fue el S 0, seguido por S 60, S 30, S+G+I 0, S+G+I 30, S+G+I 60, que mostraron FT similares (Cuadro 3). El resto de los tratamientos presentaron las menores FT (Cuadro 4).

La DIVMS e índice potencial de emisión de gas fermentado (IPEGF) difirió ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 3). Se encontró una interacción entre los sustratos y los días de ensilaje, la mayor DIVMS se obtuvo en los tratamientos S 30, S 0, S+G 0, S+G 30, S 90 y S+G 60 (Cuadro 3). Mientras que el guandú solo presentó los valores más bajos de DIVMS G 90, G 30 y G 60. Los tratamientos que tuvieron menor ( $P < 0.05$ ) IPEGF fueron S+G 30, S+G 0 y G 0. Mientras que S+G+I 90 produjo mayor cantidad de gas por unidad de materia orgánica fermentada (Cuadro 3).



La mayor FM, FL, FT y DIVMS se obtuvo en el sorgo, seguidos por sorgo + guandú y sorgo + guandú + inoculante (Cuadro 3) y guandú tuvo una menor FM, FL, FT y DIVMS (FM= 147.43 mg g<sup>-1</sup>, FL=189.77 mg g<sup>-1</sup>, FT=464.07 mg g<sup>-1</sup> y DIVMS=46.48%).

Los sustratos que mostraron el menor IPEGF fueron sorgo, sorgo + guandú y guandú (441.67, 411.20 y 418.56 mL g<sup>-1</sup>MOD). Mientras que el sustrato que produjo mayor cantidad de gas por unidad de materia orgánica fermentada fue sorgo + guandú + inoculante (Cuadro 3).

La mayor FR, FM, FT y DIVMS se presentó en el tratamiento sin FA (0 días; FR= 182.98 mg g<sup>-1</sup>, FM=198.87 mg g<sup>-1</sup>, FT=652.34 mg g<sup>-1</sup> y DIVMS=61.06%). Mientras que a los 30, 60 y 90 días de FA presentaron una menor FR, FM, FT y DIVMS (Cuadro 3). Por otro lado, se observó que para la fracción de fermentación lenta (FR) e IPEGF no mostraron cambios significativos entre los tiempos de FA.

### **Relación entre composición química y cinética de producción de gas *in vitro***

La concentración de PC, FDN y FDA de los diferentes tratamientos se correlacionó negativamente con el volumen máximo (V<sub>m</sub>), con las fracciones de rápida y media fermentación (FR, FM), las fracciones de fermentación total (FT) y las DIVMS (Cuadro 4); mientras que la FT se correlacionó negativamente con PC y FDA (Cuadro 4).

Sin embargo, al realizar la correlación entre PC y DIVMS de los tratamientos compuestos con guandú, presentó una correlación negativa de -0.85 (P=0.0005).

## **DISCUSIÓN**

### **Composición química**

Las concentraciones de PC en *C. cajan* cv Caqui en los diferentes días de FA (Cuadro 2) son superiores al umbral de los requerimientos de PC (110-120 g kg<sup>-1</sup> MS) para un nivel medio de producción de animales en pastoreo (NRC, 2016). El ensilado de sorgo, sorgo + guandú, sorgo + guandú + inoculante (Sill-All 4x4 Lallemand) en sus diferentes días de fermentación anaeróbica superan el nivel (60-80 g kg<sup>-1</sup> MS) crítico que influye negativamente sobre el consumo voluntario (Orskov, 1992) y la actividad microbiana en el rumen (Van Soest *et al.*, 1991).

El contenido de FDN de T2, T3, T5 y T13 estuvo por debajo de la concentración de 550 g kg<sup>-1</sup> MS que limita el CV y la digestibilidad de los nutrientes en los animales (Van Soest, 1965) y se caracteriza como un alimento de alta calidad, por poseer una concentración cercana a 450 g kg<sup>-1</sup> MS de FDN (Girma *et al.*, 2015). No obstante, T1, T4, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T14, T15, T16 se pueden considerar como sustratos de calidad media por contener una concentración que varía entre 450 y 650 g kg<sup>-1</sup> MS de FDN (Cuadro 1). Además, de que poseen altas concentraciones de FDA (T1, T4, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T14, T15, T16) y podría estar relacionado con el clima, temperatura, radiación, precipitación y humedad relativa (Méndez *et al.*, 2020).



**Cuadro 4. Matriz de correlación entre la composición química, las constantes de producción de gas y la digestibilidad *in vitro* de materia seca**

	PC	FDN	FDA
V	-0.82924 <.0001	-0.58985 0.0162	-0.84829 <.0001
S	0.27733 0.2984	0.02217 0.935	0.234 0.3831
L	-0.03253 0.9048	0.17503 0.5167	-0.08863 0.7441
FR	-0.52165 0.0382	-0.60738 0.0126	-0.49812 0.0496
FM	-0.79137 0.0003	-0.51604 0.0407	-0.83235 <.0001
FL	-0.68033 0.0037	-0.33237 0.2085	-0.69951 0.0026
FT	-0.81092 0.0001	-0.56184 0.0235	-0.82585 <.0001
DIVMS	-0.78719 0.0003	-0.65437 0.006	-0.88745 <.0001
IPEGF	-0.1406 0.6035	0.05275 0.8462	-0.02326 0.9318

<sup>A</sup> coeficiente de correlación; <sup>B</sup> Correlación significativa a  $P < 0.05$ . PC: Proteína Cruda; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; S: tasa de fermentación; L: fase de retraso; Vm: Volumen máximo; FR: fracción de fermentación rápida; FM: fracción de fermentación media; FL: fracción de fermentación lenta; FT: fracción fermentable total; IPEGF: Índice potencial de emisión de gas por unidad de materia orgánica digestible.

### Cinética de fermentación de gas *in vitro*

La conservación de los forrajes mediante la técnica de FA es una de las estrategias de alimentación que sustenta a los sistemas de producción del trópico en la época de estiaje, este método de conservación permite mantener las características nutricionales deseables del forraje, mediante la fermentación ácido láctica anaeróbica (Contrera-Govea *et al.*, 2008). La utilidad de la combinación en los silos de las asociaciones entre gramíneas y leguminosas, ha tomado importancia, debido a que, a través de esta técnica, se incrementa el aporte de proteína al sistema ruminal, permiten aprovechar, conservar y mejorar las condiciones de fermentación y degradación de los sustratos en el rumen (Gómez *et al.*, 2015). Al respecto, Boddey *et al.* (2009) Señalan un aumento en la sustentabilidad de sistemas integrados que es alcanzado con la incorporación de leguminosas al sistema, la utilización de leguminosas arbustivas como el guandú, tanto para la producción en el consorcio con cultivos anuales como maíz o sorgo, así como en la asociación con gramíneas para pastoreo directo, son una opción que visa mejorar el contenido proteico de la dieta de los animales.

En este sentido, los mayores Vm obtenidos en T1, T3, T2 y T4 se relacionan con la mayor digestión de los carbohidratos estructurales presentes en las biomasa (FDN), los cuales ocasionan un lento inicio de la fermentación (L), (Cuadro 3), mostrando un retardo en la



adherencia de los microorganismos e incrementando la tasa de fermentación (S), (Cuadro 3) (Kibon & Orskov, 1993; Albores *et al.*, 2018). Adicionalmente, se ha reportado que el ensilado de sorgo muestra un potencial para poder ser una estrategia de alimentación mediante la FA y que no muestran diferencias ( $P > 0.05$ ) en los tiempos de FA como se muestra en el presente estudio (Rendón *et al.*, 2014). Por otra parte, el mayor Vm encontrado en T13, T14 y T15 podría relacionarse con el inoculo (Sil-all 4X4 Lallemand) que se le agregó al sustrato y al tiempo de FA que disminuyó el tiempo de adherencia (L) de los microorganismos, mejorando la tasa de fermentación (S), (Cuadro 3) (Rodríguez *et al.*, 2013).

Por otra parte, *C. cajan* y sus combinaciones con sorgo y aditivos se han estudiado fundamentalmente en la alimentación de animales no rumiantes, por lo que, existe poca información acerca de su utilización en rumiantes, y menos aún de su degradación ruminal. En este contexto, en el presente estudio se muestra que los tratamientos con baja producción de gas total fueron los sustratos que tenían sorgo + guandú y guandú (T5, T16, T8 y T6, T7, T9, T12, T10 y T11; Cuadro 3), este bajo Vm se relaciona a una alta concentración de FDN y FDA (Cuadro 2) y un rápido inicio de la fermentación, debido a sus contenidos de PC, que al degradarse liberan carbonato de amonio y  $\text{NH}_3$  que es utilizado por las bacterias para la síntesis de proteína microbiana (Cajarville *et al.*, 2012), disminuyendo la cantidad de gas producido (Cuadro 3); (González *et al.*, 1998).

### **Fracciones fermentables, digestibilidad e índice de potencial de emisión de gas fermentado**

La sincronización de la disponibilidad de energía y la liberación de  $\text{NH}_3$  en el rumen depende de la velocidad y disponibilidad potencial de nutrientes contenidos en los forrajes (FR, FM y FL; Cuadro 3). En las gramíneas, los follajes arbóreos y las mezclas entre estos sustratos para la alimentación animal, los índices de sincronización son químicamente más complejos y críticos, comparado con aquellos alimentos más homogéneos (Rosales & Gill, 1999); y es común observar un exceso de nitrógeno y presentar una pobre a moderada sincronización entre la fermentación del nitrógeno y la fermentación de MS. Sin embargo, cuando estos son combinados en un silo, se espera que se mejoren las condiciones de los índices de sincronización incrementando las fracciones fermentables y la degradación de la MS (Nsahlai *et al.*, 1995). En este sentido, los hallazgos sobre el inicio rápido a moderado del proceso de fermentación de la MS con los T13, T15, T14, T16, T5 (Cuadro 3) podría deberse a una mayor fermentación de su fracción soluble que contiene azúcares; además, de la fermentación del almidón, la celulosa y pectinas (Miranda *et al.*, 2015) que favorecieron la rápida acción microbial y el inicio de la fermentación (FR) como consecuencia de la interacción en la concentración de PC, FDN, FDA y al inoculo Sil-all 4X4 Lallemand, que se agregó a los tratamientos (Cuadro 2), que probablemente conservó la cantidad de carbohidratos no estructurales como los azúcares y el almidón (Cajarville *et al.*, 2012).



Mientras que T1, T3, T2, T4, T14, T15, T13 y T16, mostraron una degradación de mayor componente de almidón y la concentración de celulosa (FM y FL; Cuadros 2 y 3), que podría estar influenciado por la combinación entre el sorgo y guandú y el tiempo de FA (30 y 90 días), (Cuadro 3), que influye directamente sobre el tiempo en que los microorganismos comienzan la degradación de los sustratos (Rodríguez *et al.*, 2013).

La identificación de los tratamientos que presentan una lenta fermentación, como lo fue T6, T7, T8, T9, T10, T11 y T12 puede ser útil para incorporarlas en dietas balanceadas como una fuente de energía, y sincronizarlas en mezclas con otros sustratos que tengan una rápida fermentación para aprovechar el exceso de NH<sub>3</sub> que aportan, ya que fueron influenciadas por el tipo de sustrato y el tiempo de FA (Cuadro 3) (Cajarville *et al.*, 2012). La mayor DIVMS que se encontró en T2, T1, T3, T5, T6, T4 y T6 (Cuadro 4) se relaciona con la menor concentración de celulosa en la planta (Cuadro 2 y 3), (Girma *et al.*, 2015); probablemente una mayor concentración energética en la fermentación anaeróbica favoreció un rápido inicio de la fermentación sosteniendo altas tasas de esta que dieron como resultado un mayor volumen de gas total (Cuadro 3). Mientras que la menor DIVMS de T12, T16, T10 y T11 (Cuadro 4) se asocia a su mayor proporción de FDN y FDA (Cuadro 2) que limitan la actividad fermentativa (Cuadro 3); debido a que liga químicamente a los carbohidratos estructurales, limitando su digestión (Moore & Jung, 2001), o probablemente el tiempo de FA y la combinación de los sustratos no permitieron un nivel de sincronización para mejorar la digestión (Cuadro 3) (Rendón *et al.*, 2014). Al respecto, al observar el comportamiento de los datos obtenidos para la variable PC y DIVMS, se procedió a correlacionar los tratamientos que contenían el guandú, en la que se encontró una correlación de -0.85, entre PC y DIVMS, lo que indica que el contenido de PC de esta planta afecta negativamente la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, este comportamiento puede deberse a la presencia de metabolitos secundarios presentes en esta planta, la cual probablemente afectó a la población microbiana o su actividad fermentativa.

La eficiencia de la degradabilidad de la MS muestra el potencial de la producción de gas (IPEGF) como indicativo del grado con que ocurre (Miranda *et al.*, 2015; Bayssa *et al.*, 2016). En este estudio T6, T5 y T9 tienen un elevado potencial para utilizarse como estrategia de mitigación en la producción de gas, ya que por cada unidad de MS fermentada se produjo la menor cantidad de gas (Vélez *et al.*, 2015). Este fenómeno puede explicarse por las altas concentraciones de constituyentes celulares (Cuadro 2) que afectan la fermentación mediante la posiblemente inhibición de los microorganismos, sin afectar la actividad de la degradación enzimática sobre la MS (Carballa *et al.*, 2015). Considerando lo antes expuesto, se concluye que el ensilado de la planta de sorgo tiene un potencial en la alimentación de los rumiantes, ya que mejora la fermentación *in vitro* de la MS, especialmente las fracciones de rápida fermentación (30 días).

La planta de guandú sola o combinada presenta un efecto negativo en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca.



## LITERATURA CITADA

ALBORES-MORENO S, Alayón-Gamboa JA, Miranda-Romero LA, Jiménez-Ferrer G, Ku-Vera JC, Vargas-Villamil L. 2018. Nutritional composition, *in vitro* degradation and potential fermentation of tree species grazed by ruminants in secondary vegetation (acahual) of deciduous forest. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*. 28(5). ISSN: 1018-7081. <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-28-05/06.pdf>

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 17th edn. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical. ISBN: 0-935584-42-0. ISSN: 0066-961X.  
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>

BALBINO LC, Cordeiro LAM, Porfírio-da-Silva V, Moraes AD, Martínez GB, Alvarenga RC, Kichel AN, Fontaneli RS, Pereira dos Santos H, Franchini JC, Galerani PR. 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 46(10), 0-0. ISSN: 0100-204X.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>

BAYSSA M, Negesse T, Tolera A. 2016. Leaf biomass yield, chemical composition, *in vitro* gas and methane production and rumen degradation characteristics of some woody plant species in afar rangeland of north eastern Ethiopia. *Middle-East J. Scientific Res*. 24(4): 1252-1265. ISSN: 1990-9233.  
<https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.23362>

BLÜMMEL M, Lebzien P. 2001. Predicting ruminal microbial efficiencies of dairy rations by *in vitro* techniques. *Livest. Prod. Sci*. 68:107-117. ISSN: 0301-6226.  
[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00241-4)

BODDEY RM, Jantalia CP, Conceição PC. 2009. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*. 16(2):784-795. ISSN: 1365-2486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x>

CAJARVILLE C, Britos A, Garciarena D, Repetto JL. 2012. Temperate forages ensiled with molasses or fresh cheese whey: Effects on conservation quality, effluent losses and ruminal degradation. *Animal Feed Science and Technology*. 171(1):14–19. ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.016>

CARBALLA M, Regueiro L, Lema JM. 2015. Microbial management of anaerobic digestion: exploiting the microbiome-functionality nexus. *Current Opinion in Biotechnol*. 33: 103-111. ISSN: 0958-1669. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.01.008>



CONTRERA-GOVEA F, Muck R, Armstrong K, Albrecht K. 2008. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science And Technology*. ISSN: 3778401. <https://doi.org/10.1016/J.Anifeedsci.2008.07.001>

ELMASRY AMA, Mendoza GM, Miranda LA, Vázquez G, Salem AZM, Hernández PA. 2016. Effects of types and doses of yeast on gas production and in vitro digestibility of diets containing maize (*Zea mays*) and lucerne (*Medicago sativa*) or oat hay. *South African J Anim Scien*. 46 (4). ISSN: 2221-4062. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v46i4.7>.

ESTRADA-LÓPEZ I, Esparza-Jiménez S, Albarrán-Portillo B, Yong-Ángel G, Rayas-Amor AA, García-Martínez A. 2018. Evaluación productiva y económica de un sistema silvopastoril intensivo en bovinos doble propósito en Michoacán, México. *CIENCIA ergo-sum*. 25(3). ISSN: 2395-8782. <https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a7>

GARCÍA-GÓMEZ CA. 2018. Análisis económico de prácticas silvopastoriles y buenas prácticas ganaderas para mejorar la resiliencia climática en fincas productoras de leche en el municipio de Olanchito, Departamento de Yoro, Honduras. Tesis de Maestría. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8848>

CATIE, Turrialba (Costa Rica). Pp. 87. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8848>

GARCÍA M, Henry D, Schulmeister T, Benítez J, Moreno MR, Cuenca J, Ponce C, DiLorenzo N. 2015. Nutrición animal en sistemas tropicales: Uso de residuos agrícolas en la producción animal. *Maskana*, 6:75-81. ISSN: 2477-8893. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/651/567>

GIRMA M, Animut G, Assefa G. 2015. Chemical composition and in vitro organic matter digestibility of major indigenous fodder trees and shrubs in Northeastern drylands of Ethiopia. *Livest. Res. Rural Dev*. 27(2). ISSN: 1213784. <http://www.lrrd.org/lrrd27/2/girm27026.htm>

GÓMEZ-GURROLA A, Sanginés-García L, Hernández-Ballesteros JA, Benítez-Meza JA. 2015. Proximate chemical analysis of corn silage of DK2034 Variety at different fermentation times. *Educateconciencia*. 7(8):62-68. ISSN: 2007-6347. <https://tecnocientifica.com.mx/volumenes/V7N8A6.pdf>

GONZÁLEZ RM, Fondevila M, Urdaneta AB, Newman Y. 1998. *In vitro* gas production from buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) fermentation in relation to the cutting interval, level of nitrogen fertilization and season of growth. *Anim. Feed Sci. Technol*. 72: 19-32. ISSN: 0377-8401 [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00181-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00181-8)



GONZÁLEZ RIC, Gómez FGT, Galindo MFA. 2015. Recursos naturales y uso de las tierras ganaderas en el trópico. En: González PE, Dávalos FJL, Rodríguez RO. (coordinadores). Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. REDGATRO-CONACYT, México. Pp. 38-47- ISBN 978-607-37-0556-1. <https://redgatro.fmvz.unam.mx/assets/rn9.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA. 2017. Cuaderno estadístico municipal, Villaflores, Chiapas, México, Instituto Nacional de Estadística Geográfica e informática. Edit. INEGI. DR © 2017, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Pp. 24 - 30.  
[https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825094836.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094836.pdf)

KIBON A, Orskov ER. 1993. The use of degradation characteristics of browse plants to predict intake and digestibility by goats. *Animal Science*. 57:247-251. ISSN: 1748-748X. <https://doi.org/10.1017/S0003356100006851>

KRISHNAMOORTHY U, Rymer C, Robinson PH. 2005. The in vitro gas production technique: limitations and opportunities. *Anim Feed Sci Technol*. 123-124:1-7. ISSN: 3778401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.015>

KÚ-VERA JC, Ayala-Burgos AJ, Solorio-Sánchez FJ, Briceño-Poot EG, Ruiz-González A, Piñeiro-Vázquez AT, Chay-Canul AJ. 2013. Tropical tree foliages and shrubs as feed additives in ruminant rations. *Nutritional Strategies of Animal Feed Additives*. Nova Sci. Publishers. New York. USA, 59-76. ISBN: 978-1-62417-002-7.  
[https://www.researchgate.net/publication/267626768\\_Tropical\\_tree\\_foliage\\_and\\_shrubs\\_as\\_feed\\_additives\\_in\\_ruminant\\_rations](https://www.researchgate.net/publication/267626768_Tropical_tree_foliage_and_shrubs_as_feed_additives_in_ruminant_rations)

MANNETJE LT. 1982. Problems of animal production from tropical pastures. In *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures: proceedings of an international symposium held at St. Lucia, Queensland, Australia, August 24-28, 1981*/edited by JB Hacker. Farnham Royal, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux. ISBN: 0851984924, 9780851984926. <http://hdl.handle.net/102.100.100/287130?index=1>

MÉNDEZ-MARTÍNEZ Y, Reyes-Pérez J, Luna-Murillo R, Ledea-Rodríguez J, Sornoza-Zambrano W, Herrera-Mena F, Álvarez-Perdomo G, Ramírez J. 2020. Efecto de la edad del rebrote y el clima en la composición química de *Cenchrus purpureus* en ecosistemas degradados de Cuba. *Scientia Agropecuaria*. 11(3):301-308. ISSN 2077-9917. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.02>



MENKE KH, Steingass H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim Res Dev*. 28: 7–55. ISSN: 0340-3165. <https://www.scienceopen.com/document?vid=e1859372-e696-424a-85fb-d305b0b594bc>

MIRANDA RLA, Vázquez MP, Amendola MR, Sandoval GL, González OR. 2015. Cuantificación de las fracciones fermentables de alfalfa y tuna por la técnica de producción de gas. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Puerto Varas, Chile. Pp 146.  
[https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs\\_files/article/view/2651/1066](https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2651/1066)

MONFORTE BGE, Sandoval CCA, Ramírez AL, Capetillo LCM. 2005. Defaunating capacity of tropical fodder trees: Effects of polyethylene glycol and its relationship to in vitro gas production. *Anim Feed Sci and Technol*. 123:313–327. ISSN: 0377-8401.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.016>

MONTGOMERY DC. 2013. Design and Analysis of Experiments. Eighth Edition, Wiley & Sons, New Jersey, USA. Pp. 724. SBN 978-1118-14692-7.  
<https://mip.faperta.unri.ac.id/file/bahanajar/58219-2013-8ed-Montgomery-Design-and-Analysis-of-Experiments.pdf>

MOORE KJ, Jung HJG. 2001. Lignin and fiber digestion. *Journal of Range Management*. 54: 420-430. ISSN: 0022-409X. <https://doi.org/10.2307/4003113>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition. Posted 2016-10-28. ISBN: 978-0-309-31705-4.  
<https://doi.org/10.17226/19014>

NSAHLAI IV, Siaw DEKA, Uminna NN. 1995. Inter- relationships between chemical constituents, rumen dry matter and nitrogen degradability in fresh leaves of multipurpose trees. *Journal of Science Food and Agriculture*. 69:235-246. ISSN: 10970010, 00225142.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740690214>

ORSKOV ER. 1992. Protein Nutrition in Ruminants. Academic Press, London, UK. Pp. 175. ISBN: 978-0125284813. <https://www.amazon.com/-/es/R-Orskov/dp/0125284810>



PÉREZ-LUNA EJ, Gil-Molina R, Córdova-Murillo LF, Espinosa-Villafuerte SG, León-Velasco H, Ley-de Cos A. 2019. Valor nutricional de ensilaje de *Sorghum bicolor* L. moench cv rb cañero y *Cajanus cajan* CV CAQUI en un sistema integrado de producción agropecuaria en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 6(2):1247-1251. ISSN: 2007-9559.

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105911/Aviles%20et%20al.%2C%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PIÑEIRO-VÁZQUEZ AT, Canul-Solís JR, Casanova-Lugo F, Chay-Canul AJ, Ayala-Burgos AJ, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC. 2017. Emisión de metano en ovinos alimentados con *Pennisetum purpureum* y árboles que contienen taninos condensados. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 8(2):111-119. ISSN: 2448-6698. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4401>

RENDÓN ME, Noguera RR, Posada SL. 2014. Vinaza de caña como aditivo acidificante en la elaboración de ensilaje de maíz (*Zea mays*). *Livestock Research for Rural Development*. ISSN: 01213784. <http://www.lrrd.org/lrrd26/1/rend26007.html>

RODRÍGUEZ R, Lores J, Gutiérrez D, Ramírez A, Gómez S, Elías A. 2013. Inclusión del aditivo microbiano Vitafert en la fermentación ruminal in vitro de una dieta para cabras. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 47(2):171-178. ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193028751011>

ROSALES M, Gill M. 1997: Tree mixtures within integrated farming systems. *Livestock Research for Rural Development*. 9, #36. ISSN 0121-3784. <http://www.lrrd.org/lrrd9/4/mauro941.htm>

SAS. 2006. Institute Inc., SAS/STAT. Software, Ver. 9.00. SAS, Cary, NC, USA. Pp. 442. ISBN: 978-3-540-37756-6. ISSN: 0302-9743. [https://www.sas.com/es\\_mx/software/stat.html](https://www.sas.com/es_mx/software/stat.html)

SCHOFIELD P, Pell AN. (1995) Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *Journal of Animal Science*. 73(11):3455-3463. ISSN 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/1995.73113455x>

THEODOROU MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48:185–197. ISSN: 3778401. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)



TORRES A, Frías J, Granito M, Vidal C. 2007. Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food chemistry*. 101:202-211. ISSN: 0308-8146.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.018>

VAN SOEST PJ. 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *Journal of Animal Science*. 24(3):834-843. ISSN: 1740-0929.

<https://doi.org/10.2527/jas1965.243834x>

VAN SOEST PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583–3597. ISSN: 0022-0302. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

VÉLEZ OM, Noguera RR, Posada SL, Gaona RC, Guerrero HS. 2015. Identificación del potencial antimetanogénico *in vitro* de plantas nativas de la sabana inundable adaptadas a condiciones de sequía en la Orinoquía Colombiana. *Livestock Research for Rural Development*. 27, #103. ISSN: 01213784.

<http://www.lrrd.org/lrrd27/5/vele27103.html>

VILLANUEVA-ÁVALOS JF. 2015. Producción de pastizales y manejo de praderas en el Estado de Nayarit. INIFAP – CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Libro Técnico Núm. 5. Santiago Ixcuintla, Nayarit. México. Pp. 151. ISBN: 78-607-37-0433-5. <https://docplayer.es/29210326-Produccion-de-pastizales-y-manejo-praderas-en-el-estado-de-nayarit.html>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-14. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.6>

Artículo Original. Recibido: 15/10/2020. Aceptado:24/04/2024. Publicado: 25/05/2024. Clave: e2020-83.

<https://www.youtube.com/watch?v=3k3wH0aLSPk>

## Efecto estacional de la calidad del calostro y el peso de la cría en la transferencia de inmunidad pasiva en becerros bovinos

Seasonal effect of colostrum quality and calf weight on passive immunity transfer in bovine calves



Peña-Revuelta Blanca<sup>1ID</sup>, Ávila-Cisneros Rafael<sup>1ID</sup>, González-Avalos José<sup>2ID</sup>,  
Preciado-Rangel Pablo<sup>3ID</sup>, Guillén-Muñoz Juan<sup>1ID</sup>, González-Avalos Ramiro<sup>\*1ID</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Carretera a Santa Fe y Periférico, Torreón, Coahuila, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Tulancingo, Hidalgo, México. <sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila, México. \*Autor responsable y de correspondencia: González-Avalos Ramiro. E-mail: blanca8989@hotmail.com, raavci2003@yahoo.com.mx, jose\_gonzalez3613@uaeh.edu.mx, pablo.pr@torreon.tecnm.mx, jaliscorga@gmail.com

### RESUMEN

El calostro es una fuente rica en nutrientes, pero sobre todo en diversos componentes inmunológicos que proporcionan inmunidad pasiva al neonato. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto en la calidad de calostro bovino y peso de la cría, en diferente época del año sobre la transferencia de inmunidad pasiva en becerros. Para la calidad de calostro, se utilizaron 2,744 vacas Holstein multíparas, se consideró <20 mg/mL de inmunoglobulinas (Ig) baja, de 20-50 mg/mL media y 50-140 mg/mL alta calidad respectivamente. Respecto al peso de las crías se realizó una separación de animales inferiores y otro superior a 40 kg respectivamente. El calostro suministrado a los recién nacidos se colectó del primer ordeño postparto; inmediatamente después a la colecta, se pasteurizó a una temperatura de 60 °C por 60 min, en un pasteurizador comercial. Los resultados muestran un promedio de calidad del calostro de 78 mg/mL de Ig. La concentración de Ig superó los 50 g/L por lo que se consideró como calostro de buena calidad. La concentración promedio de proteína sérica de los animales evaluados fue de 6.3 g/dL. Se consideró la transferencia exitosa en la adquisición de inmunidad pasiva debido a que la proteína sérica fue mayor a 5.5 g/dL en todas las estaciones del año; el 90.2% de los becerros mostraron concentraciones de éxito en la transferencia. Se concluye que la estación del año y la administración de calostro con calidad favorece la transferencia de inmunidad pasiva.

**Palabras clave:** calostro, desarrollo, inmunoglobulina, leche, proteína sérica.

### ABSTRACT

Colostrum is a rich source of nutrients, particularly various immunological components that confer passive immunity to the neonate. The objective of this study was to assess the effect of bovine colostrum quality and calf weight during different seasons on the transfer of passive immunity in calves. For colostrum quality assessment, 2,744 multiparous Holstein cows were used, with concentrations of immunoglobulins (Ig) categorized as <20 mg/mL considered low, 20-50 mg/mL as medium, and 50-140 mg/mL as high quality, respectively. Regarding calf weights, animals were separated into those weighing less and those weighing more than 40 kg, respectively. Colostrum supplied to newborns was collected from the first postpartum milking; immediately after collection, it was pasteurized at a temperature of 60 °C for 60 minutes using a commercial pasteurizer. Results indicated an average colostrum quality of 78 mg/mL of Ig. The Ig



concentration exceeded 50 g/L, categorizing it as good-quality colostrum. The average serum protein concentration in evaluated animals was 6.3 g/dL. Successful transfer of passive immunity was considered when serum protein exceeded 5.5 g/dL in all seasons; 90.2% of calves demonstrated successful transfer concentrations. It is concluded that the season and administration of high-quality colostrum promote the transfer of passive immunity.

**Keywords:** colostrum, development, immunoglobulin, milk, serum protein.

## INTRODUCCIÓN

El calentamiento climático y el estrés por calor ambiental se han transformado en desafíos importantes que afronta la industria láctea, porque afectan negativamente una variedad de funciones productivas y reproductivas en las vacas lecheras (Lendez *et al.*, 2021). Se puede señalar que el estrés por calor durante la gestación tardía; igualmente disminuye la concentración de Ig y el porcentaje de proteína total en el calostro (Dahl *et al.*, 2020), lo que puede comprometer la transferencia de inmunidad pasiva en animales nacidos de vacas con estrés por calor (Seyed Almoosavi *et al.*, 2020).

El calostro bovino consiste en una mezcla de componentes del suero sanguíneo y secreciones de la glándula mamaria; sin embargo, los componentes principales son las proteínas y grasa; ambos comprenden alrededor del 90% de los sólidos totales del calostro (Godden *et al.*, 2019). Además, el calostro es esencial para la salud de bovinos recién nacidos, debido a su doble función nutricional y las sustancias nutritivas básicas, como grasas, proteínas y minerales, que pueden promover el desarrollo morfológico intestinal y la madurez funcional (Ghaffari *et al.*, 2021).

Por lo que la calidad y manejo eficiente del calostro, son componentes esenciales para garantizar una transferencia pasiva exitosa en neonatos (Kertz *et al.*, 2017). Una higiene deficiente puede aumentar la susceptibilidad neonatal al padecimiento de enfermedades, causando un aumento en las tasas de mortalidad (Barry *et al.*, 2019). Aunque se reconoce que el calostro contiene un amplio espectro de componentes inmunológicos y nutricionales. La concentración de Ig se considera el punto de referencia para evaluar la calidad del calostro, definiéndose como alta cuando la concentración Ig supera los 50 g/L. Los niveles de Ig en el calostro pueden variar drásticamente entre vacas (Godden *et al.*, 2019).

Cabe destacar el valor del manejo del calostro para los bovinos neonatos, que proviene de la falta de transferencia de inmunidad del sistema circulatorio materno al feto; debido a la estructura de la barrera placentaria (Kalbermatter *et al.*, 2021). Es conveniente recordar que la transferencia de inmunidad pasiva a través del calostro materno, es primordial para la salud y supervivencia de los becerros en las primeras semanas de vida. La alimentación con calostro es un paso crítico para elevar la salud de las crías, debido a la fisiología y metabolismo de la especie bovina (Lora *et al.*, 2018).

La falla en la transferencia pasiva (FTP) ha sido vinculada con el incremento de morbilidad, mortalidad y una reducción en la tasa de crecimiento de los becerros. La FTP



ocurre cuando el animal no absorbe una adecuada cantidad de Ig; incluso cuando los que recibieron su alimentación temprana con gran cantidad de calostro y alta concentración de Ig presentan considerable variabilidad en los niveles de transferencia pasiva (Lora *et al.*, 2018). Por lo tanto, las prácticas de manejo relacionadas con la alimentación con calostro son de vital importancia para una producción de leche sostenible en las unidades de producción lecheras. Hasta donde se sabe, existen pocos estudios completos previos sobre la composición del calostro y la transferencia de inmunidad pasiva en becerros neonatos en unidades de producción en la Comarca Lagunera. El estudio plantea la hipótesis de que el estrés por calor en vacas multíparas Holstein, disminuye la calidad del calostro producido; lo que ocasiona una falla en la transferencia de inmunidad en neonatos.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad de calostro de vacas Holstein en diferente época del año, y su efecto sobre la inmunidad pasiva en becerros Holstein.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El estudio se realizó del 01 de enero al 30 de diciembre de 2018, en un establo del municipio de Matamoros, Coahuila; éste se encuentra localizado en la región semi-desértica del norte de México a una altura de 1100 msnm, entre los paralelos 25°35'39.0"N 103°18'35.5"W, con una precipitación media anual de 230 mm y con temperatura promedio de 24 °C, máxima de 41 °C en mayo y junio, y mínima de -1 °C en diciembre y enero, y con una precipitación anual promedio de 240 mm y una humedad relativa de entre 29 y 83%.

### Población

De una población de 6,200 vacas multíparas en la unidad de producción bovina, se seleccionaron 2,744, aplicando los criterios de exclusión de vacas con partos prematuros y partos gemelares. De las seleccionadas, se tuvo control del parto y ordeño del calostro (durante el día), manejadas con un sistema intensivo de producción en corral abierto.

### Manejo de animales

Las vacas fueron alimentadas con una dieta totalmente mixta (60% de forraje y 40% de concentrado, en base de materia seca 1.62 Mcal/Kg de ENL, 18% PB), formulada para satisfacer los requerimientos nutricionales de las vacas en lactancia, con una producción de leche > 33 kg/día. Se alimentó a las vacas con pienso cuatro veces al día (a las 0600, 1000, 1200 y 1600 h); además se les adicionó un 10 % diario adicional para consumo a voluntad. Asimismo, se vacunó a cada una de las vacas de acuerdo con el programa preventivo de vacunación de hato, enfocado principalmente en enfermedades como: la leptospirosis, clostridiasis, diarrea viral bovina, rinotraqueítis infecciosa bovina, el virus respiratorio sincitial bovino y la parainfluenza tipo 3.



## **Recolección y pasteurización de calostro**

Para llevar a cabo la investigación, los datos de partos y análisis de la calidad del calostro, se analizaron por estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno). La colecta de calostro se llevó a cabo dentro de las primeras 24 h posteriores al parto. Inicialmente se determinó densidad, en un calostrómetro (Biogenics Inc., Mapleton, Or., USA ®). El calostro que presentaba una densidad  $\geq 50$  mg/mL de Ig, se usó para preparar lotes de 40 L (n=10). Estos lotes se pasteurizaron a una temperatura de 60°C, por 60 min, dentro de un pasteurizador comercial (Dairytech, Inc., Windsor, Colorado USA ®). Después de pasteurizado, el calostro se almacenó a -20°C en bolsas de plástico Ziploc ® de 26,8 x 27,3 cm (2 L/bolsa).

## **Calidad del calostro**

Para llevar a cabo el análisis de la calidad del calostro, se determinó densidad, en un calostrómetro (Biogenics Inc., Mapleton, Or., USA ®); la temperatura de éste al momento de la medición fue de 22°C. Calostro con  $< 22$  mg/mL, se consideró de pobre calidad,  $\geq 22$  y  $< 50$  mg/ml de calidad media y  $\geq 50$  mg/mL de excelente calidad (Fleener & Stott, 1980). Se analizó por estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno).

## **Peso de becerro**

Para obtener el peso de los animales recién nacidos, se utilizó una báscula ganadera (PG-2000, Torrey ®). El pesaje se realizó antes del suministro del calostro.

## **Transferencia de inmunidad pasiva**

Para investigar los efectos de la Transferencia de Inmunidad Pasiva (TIP), se seleccionó una muestra compuesta por 2,744 becerros; estos animales fueron separados de sus madres al nacer, y alojados individualmente en jaulas de metal, las cuales fueron previamente lavadas y desinfectadas. La primera dosis de calostro fue administrada en las primeras dos horas de vida, seguida de una segunda dosis, seis horas después de la primera, suministrando 2 litros en cada toma.

Entre las 24 y 48 horas de vida de los becerros, se recolectó una muestra de sangre de la vena yugular, consistente en 5.0 mL por cada becerro. Esta muestra se depositó en tubos Vacutainer®, permitiéndose la coagulación a temperatura ambiente hasta la separación del suero. De las 2,744 muestras de suero, se extrajeron 2 mL de cada una, para llevar a cabo el análisis de proteína sérica. El procedimiento analítico se efectuó mediante la lectura en un refractómetro (Vet 360, Reichert Inc. ®), y los resultados se expresaron en términos de concentración de proteína sérica, medida en g/dL. Este parámetro fue utilizado como indicador de la Transferencia de Inmunidad Pasiva hacia los becerros.

## **Diseño experimental**

Se procedió a organizar los datos correspondientes a los 2,744 becerros, según el mes en el que se llevaron a cabo las tomas de calostro y la extracción de las muestras sanguíneas. Estos datos mensuales fueron posteriormente agrupados con el objetivo de realizar un análisis basado en las estaciones del año. En esta clasificación, los datos de



enero, febrero y marzo fueron asignados a la estación de invierno; mientras que los meses de abril, mayo y junio fueron considerados como parte de la estación de primavera. Asimismo, julio, agosto y septiembre se agruparon para formar la estación de verano, y finalmente, octubre, noviembre y diciembre conformaron la estación de otoño. Se llevó a cabo un análisis mensual y estacional de los datos, centrándonos en la calidad del calostro (g/L) de Ig, la proteína sérica y la transferencia de inmunidad pasiva.

Con relación al peso de los animales, estos se evaluaron considerando dos grupos: inferior a 40, y superior a 40 kg respectivamente en las diferentes estaciones del año.

### **Análisis estadístico**

Para todas las variables se utilizó un análisis de varianza y la comparación de medias Tukey, tanto para el análisis mensual como para las estaciones; los datos se agruparon para obtener el promedio de cinco repeticiones. Se empleó el valor de  $p \leq 0.05$  para considerar diferencia estadística. Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico IBM-SPSS Statistics. El modelo estadístico utilizado fue:

$Y_{ij} = \mu + M_i + \xi_{ij}$ ; donde  $\mu$  = media general,  $M_i$  = efecto del  $i$ -ésimo mes,  $\xi_{ij}$  = error experimental, y para el caso de las estaciones fue:  $Y_{ij} = \mu + E_i + \xi_{ij}$ .

## **RESULTADOS**

### **Población**

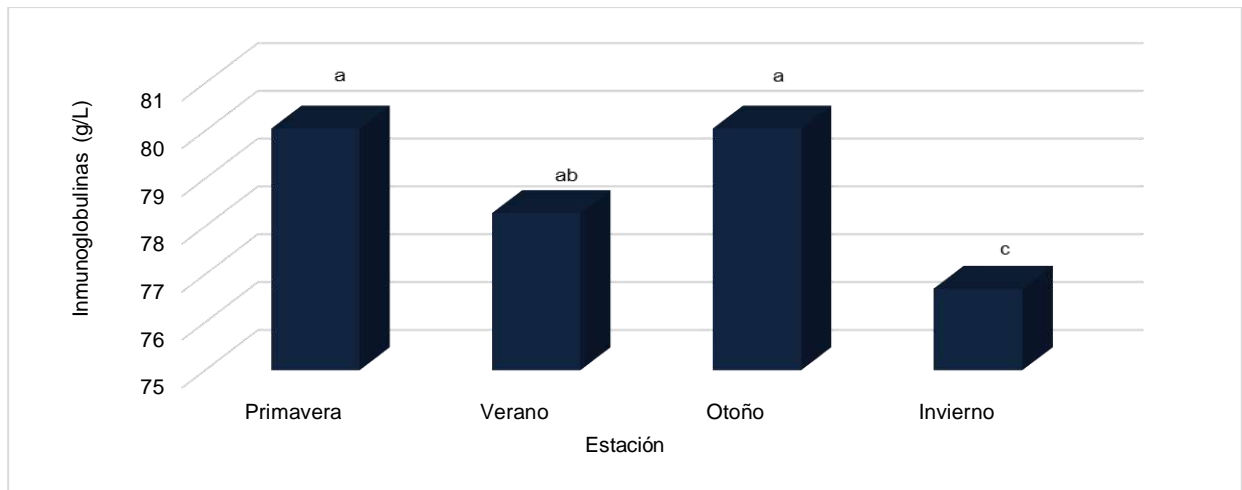
Respecto a la relación total de partos 2,744, se observó la mayor cantidad de partos en invierno 34.78%, otoño 33.98%, verano 19.67% y primavera con 11.57%, respecto al total de partos. Respecto al peso de las crías recién nacidas durante las estaciones del año (figura 5), se observó diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre estaciones. Los animales con mayor peso nacieron en invierno, los de menor peso en primavera.

En relación al peso de las crías nacidas a lo largo de los distintos meses del año (figura 6), se encontró diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre los distintos meses evaluados; las crías con menor peso se observaron en mayo, junio y julio (35.12, 35.26, 35.42 kg respectivamente).

### **Calidad de Calostro**

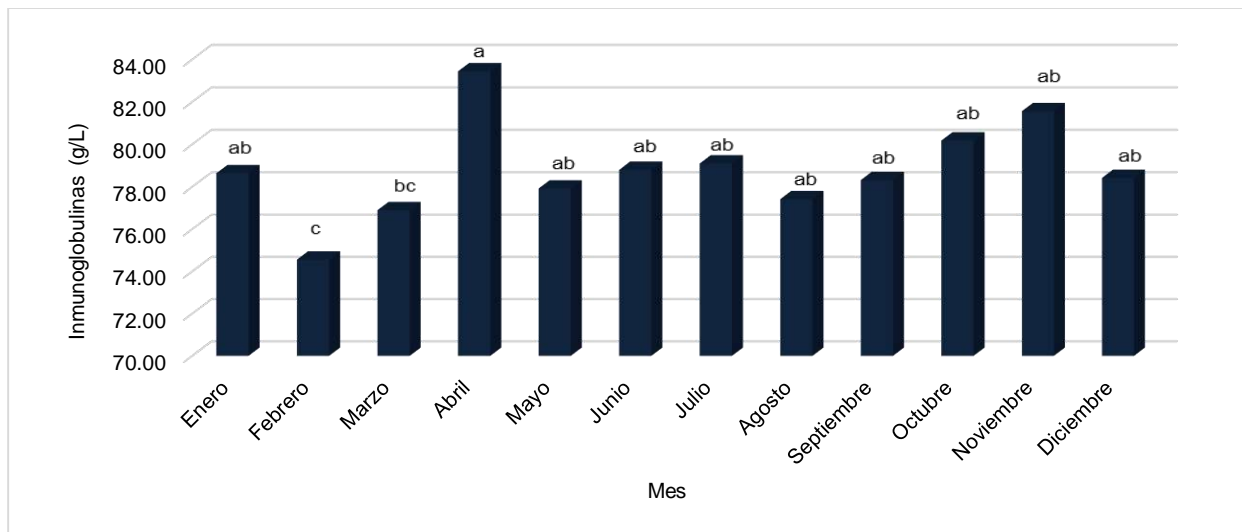
Con relación a la calidad del calostro producido en las vacas multíparas Holstein (figura 1), con base en la estación del año, se observó diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) para las estaciones de primavera y otoño, con respecto a verano e invierno; el calostro de menor calidad se recolectó en invierno.

Respecto a la calidad del calostro producido a lo largo del año (figura 2), se registra diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre meses. En el mes de abril se reportó el de más alta calidad, y para febrero el de menor respectivamente.



\*Diferente literal entre columna indica diferencia estadística  $p \leq 0.05$

**Figura 1. Promedio de calidad de calostro producido por vacas Holstein múltiparas en diferente estación del año**

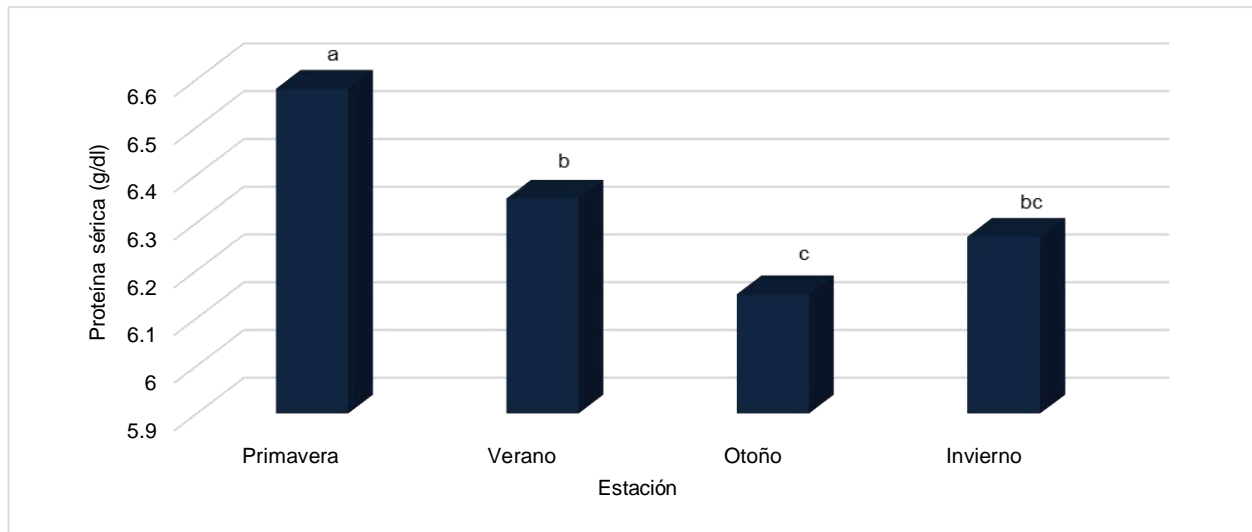


\*Diferente literal entre columna indica diferencia estadística  $p \leq 0.05$

**Figura 2. Promedio de calidad de calostro producido por vacas Holstein múltiparas durante el año**

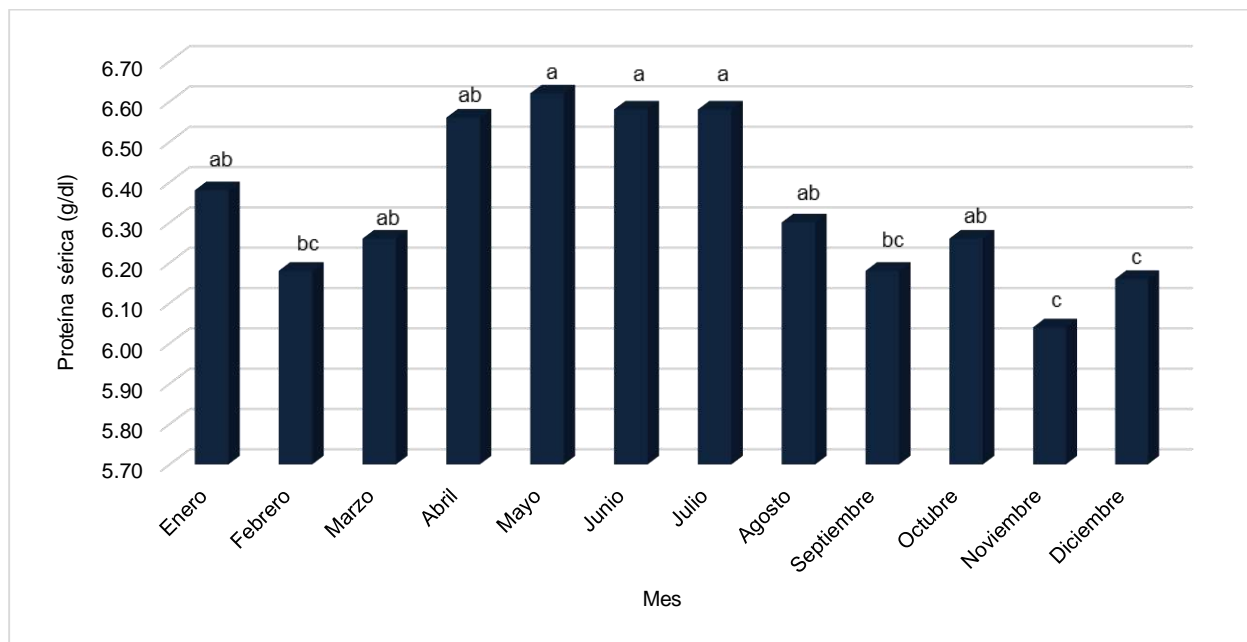
### Transferencia de Inmunidad Pasiva

Se determinó la transferencia de inmunidad pasiva (figura 3), en las diferentes estaciones del año; existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) a favor de la primavera, donde se registra el valor más alto de proteína sérica. En la estación de otoño se reporta el valor más bajo de proteína. Los resultados para la TIP en los diferentes meses del año (figura 4), en donde existió diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) a favor de los meses de mayo, junio y julio (6.62, 6.58, 6.58 g/dl respectivamente).



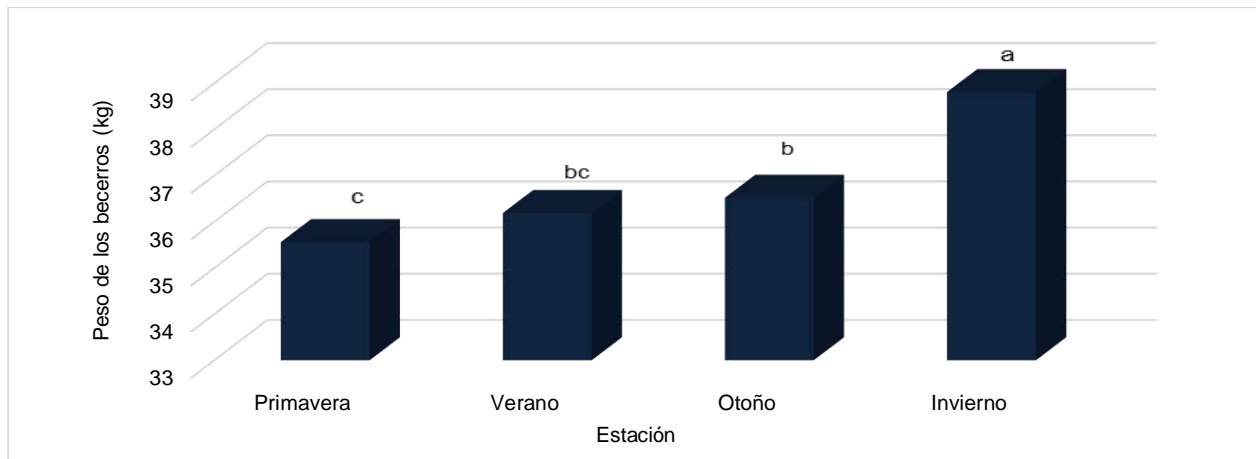
\* Diferente literal entre líneas indica diferencia estadística  $p \leq 0.05$

**Figura 3. Distribución estacional de proteína sérica en suero sanguíneo ( $\text{g/dL}^{-1}$ ) en becerros Holstein**



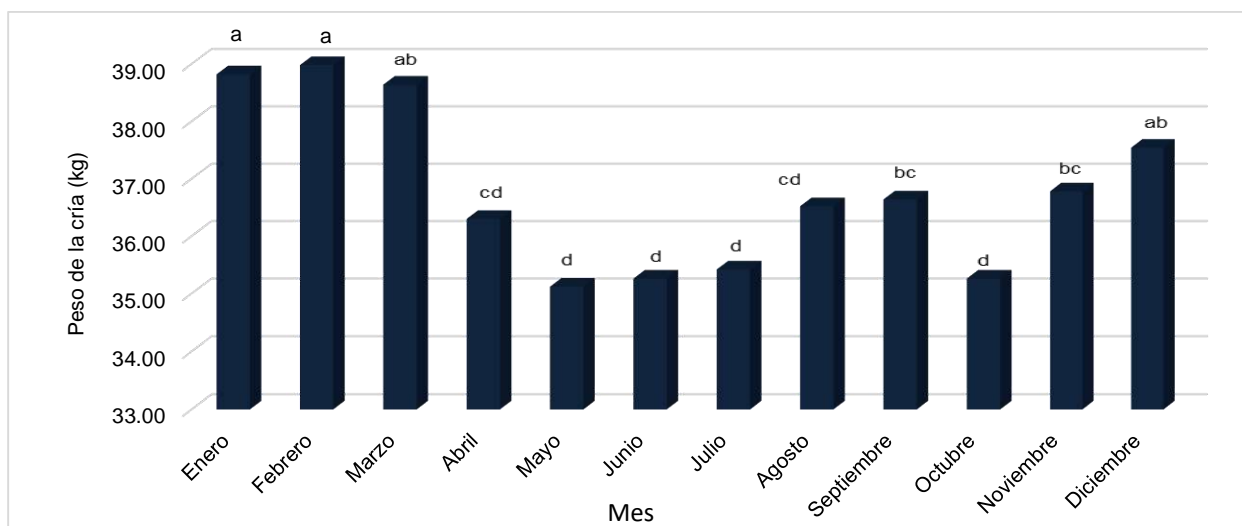
\* Diferente literal entre líneas indica diferencia estadística  $p \leq 0.05$

**Figura 4. Distribución durante el año de proteína sérica en suero sanguíneo ( $\text{g/dL}^{-1}$ ) en becerros Holstein**



\* Diferente literal entre líneas indica diferencia estadística  $p \leq 0.05$

**Figura 5. Distribución estacional del peso al nacimiento de las crías, de vacas Holstein múltiparas**



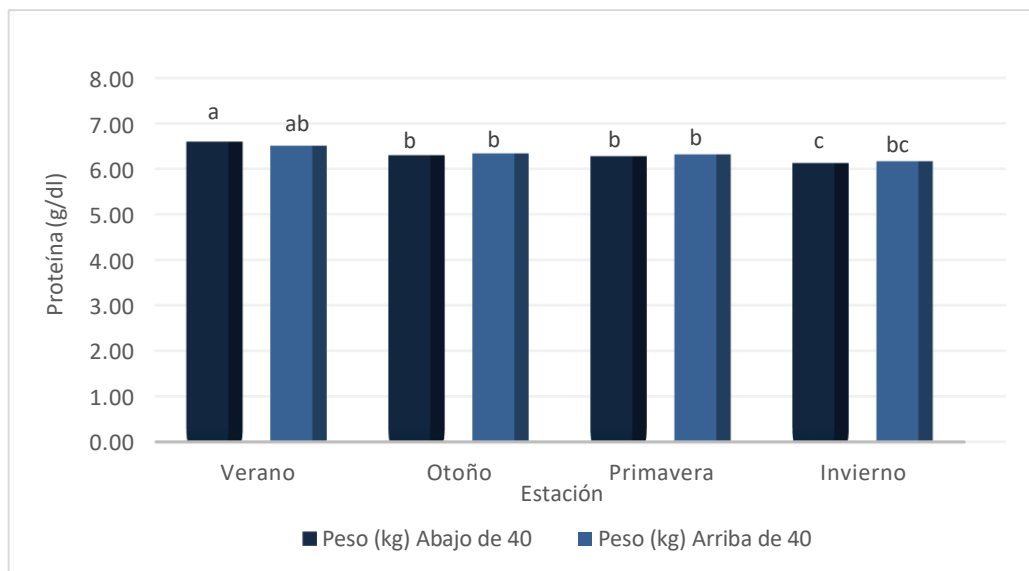
\* Diferente literal entre líneas indica diferencia estadística  $p \leq 0.05$

**Figura 6. Distribución mensual del peso al nacimiento de las crías, de vacas Holstein múltiparas**

Se evaluó la transferencia de inmunidad pasiva de acuerdo con el peso de nacimiento de las crías (figura 7); se observó una clara distinción en la transferencia de inmunidad pasiva entre crías nacidas según la estación. En particular, la estación de verano mostró una concentración de proteína sérica de 6.6 g/dl para crías con un peso inferior a 40 kg, lo que fue significativamente mayor en comparación con otras estaciones. Sin embargo, para crías con un peso superior a 40 kg, la estación de invierno presentó una



concentración de 6.17 g/dl; clasificándose como la segunda estación con la transferencia más eficiente después del verano.



\* Diferente literal entre líneas indica diferencia estadística  $p \leq 0.05$

**Figura 7. Transferencia de inmunidad pasiva (g/dl) de acuerdo con el peso de nacimiento de las crías**

## DISCUSIÓN

Diversos factores están implicados en la producción de calostro de calidad, incluida la nutrición y duración del periodo seco, época de parición, estación y la producción previa de leche a 305 días (Soufleri *et al.*, 2021). Resultados similares se han reportado, la calidad del calostro producido por vacas Holstein en diferentes estaciones del año, fue significativamente mejor en la primavera que en el invierno (Genc & Coban, 2017). En un estudio se encontró que la calidad de calostro de vacas Holstein varió significativamente entre meses, en las estaciones de invierno y primavera; produciendo calostro de menor calidad que en los meses de las estaciones verano y otoño (Yaylak *et al.*, 2017). Algunos estudios han sugerido que la exposición a temperaturas ambientales elevadas al final del periodo de gestación, se vincula con una composición más deficiente del calostro; incluyendo concentraciones promedio más bajas, como señalan los hallazgos de Puppel *et al.* (2019). No obstante, existen informes contradictorios que plantean resultados opuestos, como lo indican las investigaciones de Shivley *et al.* (2018). En un estudio de un año de una lechería Jersey de 2500 vacas en Texas, el rendimiento de calostro fue más alto en junio, pero disminuyó durante los meses de las estaciones de otoño e invierno (Gavin *et al.*, 2018). Un índice de humedad a baja temperatura y un fotoperiodo acortado 1 mes antes, y al momento del parto, fueron altamente correlacionados con un rendimiento reducido de calostro (Gavin *et al.*, 2018).



Los investigadores plantearon la hipótesis de que el fotoperiodo acortado puede reducir la producción de calostro, debido a su impacto sobre la melatonina y la prolactina; hormonas que están involucradas con la colostrogénesis. Sin embargo, un estudio que manipuló experimentalmente el fotoperiodo, no informó ningún efecto de este durante el periodo seco sobre la calidad o el rendimiento del calostro (Morin *et al.*, 2010).

La calidad del calostro está en función con la concentración de Ig; es decir, a mayor cantidad de Ig será mayor la calidad del calostro. El calostro de alta calidad tiene una concentración de Ig >50 g/L (Godden *et al.*, 2019). La calidad mínima del calostro producido por las vacas en el presente estudio fue de 60 g/L, el cual fue utilizado en la alimentación de los becerros Holstein.

El volumen de calostro producido al primer ordeño después del parto, influye significativamente sobre la concentración de Ig, ya que grandes volúmenes de calostro ( $\geq 9$  kg) diluyen las Ig acumuladas en la glándula mamaria (Pritchett *et al.*, 1991). Así mismo, la concentración de Ig está inversamente relacionada con el peso de calostro al inicio de la lactancia, lo que significa que vacas, altas productoras, pueden tener calostro con una concentración baja de Ig, aún en el primer ordeño después del parto (Morin *et al.*, 1997). Asimismo, se ha reportado que había una variación significativa en la composición de proteínas y grasas en diferentes estaciones del año, con la mayor concentración de éstas en el calostro producido en la primavera (Bernabucci *et al.*, 2015). Se consideró una transferencia exitosa en la adquisición de inmunidad pasiva cuando la proteína sérica fue mayor a 5.5 g/Dl. De 2,744 becerros, se obtuvo el 90.2%, con concentraciones de éxito en la transferencia. La medición de la proteína sérica en suero mediante el refractómetro como estimación de la concentración de inmunoglobulina en suero, es una prueba sencilla para evaluar la transferencia de inmunidad pasiva (Dunn *et al.*, 2017). Se consideró  $\geq 5.5$  g/dL, una transferencia exitosa de inmunidad pasiva;  $\leq 5.4$  g/dL, una transferencia incompleta de inmunidad pasiva (Quigley *et al.*, 2001). McGuirk & Collins (2004), sugieren que una meta sería  $\geq 80\%$  de los becerros sometidos a la prueba con el refractómetro, alcancen o superen el punto de referencia (5.5 g/dL) de proteína sérica.

En el presente estudio se observó un 90.2% de las crías que superan el punto de referencia. Abdullahoğlu *et al.* (2019), reportan un 85% de animales con un valor mayor a 5.5 g/Dl; en un estudio donde se valoró la transferencia de inmunidad pasiva en becerros Holstein. El principal factor que afecta la eficiencia de absorción de Ig es la edad del animal al momento de la alimentación. La eficiencia de transferencia de Ig a través del epitelio intestinal, es óptima en las primeras cuatro h después del parto; pero después de seis h se produce un descenso progresivo de la eficiencia de absorción de Ig con el tiempo (Besser *et al.*, 1985). Se observó un promedio de 6.3 g/dL en la transferencia de inmunidad promedio; este resultado se puede asociar al consumo de las dos primeras tomas de calostro, éstas se suministraron durante las primeras seis h de vida de los becerros, obteniendo así una mayor eficiencia de absorción de Ig. Johnson



*et al.* (2007), observaron 6.3 g/dL en animales de 48 h de vida después de haber suministrado 3.8 L de calostro pasteurizado; los mismos fueron alimentadas dentro de la primera y segunda h de vida. Los becerros son capaces de absorberlas del calostro por un tiempo limitado después del nacimiento; después de las 24 horas de vida, la absorción es escasa. La absorción de una cantidad adecuada de Ig a partir del calostro, es esencial para que las crías recién nacidas puedan obtener inmunidad pasiva. Para que se obtenga una absorción adecuada de Ig, se requiere que el animal sea capaz de absorberlas del calostro, lo cual dependerá del periodo de tiempo que transcurre, entre el nacimiento y el suministro del mismo; que consuma una cantidad suficiente de Ig, lo cual está determinado por la concentración de ellas en el calostro y la cantidad consumida (Lombard *et al.*, 2020).

### CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las cuales se desarrolló el experimento, se concluye que la estación del año al momento del parto influye de manera significativa en la calidad del calostro producido por las vacas lecheras, afectando directamente la TIP a los becerros recién nacidos. Los meses de primavera son propicios para una mayor transferencia de inmunidad pasiva (g/dl), influyendo en el peso de los becerros. La importancia de considerar la temporalidad en las prácticas de manejo del ganado lechero, destaca la necesidad de estrategias específicas según la estación del año para optimizar la salud y la vitalidad de los terneros, desde las etapas iniciales de vida.

### LITERATURA CITADA

ABDULLAHOĞLU E, Duru S, Özlüer A, Filya I. 2019. Factors affecting colostrum quality and calf passive transfer levels in Holstein cattle. *Animal Science Papers and Reports*. 37(1):29-39. <https://goo.su/JPd57eA>

BARRY J, Bokkers EAM, Berry DP, de Boer IJM, McClure J, Kennedy E. 2019. Associations between colostrum management, passive immunity, calf-related hygiene practices, and rates of mortality in preweaning dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 102:10266-10276. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16815>

BERNABUCCI U, Basiricò L, Morera P, Dipasquale D, Vitali A, Cappelli FP, Calamari L. 2015. Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 98(3):1815-1827. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8788>

BESSER TE, Garmedia AE, McGuire TC, Gay CC. 1985. Effect of colostral immunoglobulin G<sub>1</sub> and immunoglobulin M concentrations on immunoglobulin absorption in calves. *Journal of Dairy Science*. 68:2033-2037. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81065-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81065-1)



DAHL EG, Tao S, Laporta J. 2020. Heat stress impacts immune status in cows across the life cycle. *Front. Vet. Sci.* 7:116. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00116>

DUNN A, Ashfield A, Earley B, Welsh M, Gordon A, McGee M, Morrison SJ. 2017. Effect of concentrate supplementation during the dry period on colostrum quality and effect of colostrum feeding regimen on passive transfer of immunity, calf health, and performance. *Journal of Dairy Science.* 100:357-370. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11334>

FLEENOR WA, Stott GH. 1980. Hydrometer test for estimation of immunoglobulin concentration in bovine colostrum. *Journal of Dairy Science.* 63:973-977. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83034-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83034-7)

GHAFFARI MH, Sadri H, Steinhoff-Wagner J, Hammon HM, Sauerwein H. 2021. Effects of colostrum feeding on the mRNA abundance of genes related to toll-like receptors, key antimicrobial defense molecules, and tight junctions in the small intestine of neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science.* 104:10363-10373. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20386>

GAVIN K, Neibergs H, Hoffman A, Kiser JN, Cornmesser MA, Amirpour SH, Martínez-López B, Wenz JR, Moore DA. 2018. Low colostrum yield in jersey cattle and potential risk factors. *Journal of Dairy Science.* 101:6388-98. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14308>

GENC M, Coban O. 2017. Effect of some environmental factors on colostrum quality and passive immunity in brown swiss and holstein cattle. *Isr J Vet Med.* 72(3):28-34. [https://www.ijvm.org.il/sites/default/files/colostrum\\_quality.pdf](https://www.ijvm.org.il/sites/default/files/colostrum_quality.pdf)

GODDEN SM, Lombard JE, Woolums AR. 2019. Colostrum management for dairy calves. *Vet Clin Food Anim.* 35:535-556. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005>

JOHNSON JL, Godden SM, Molitor T, Ames T, Hagman D. 2007. Effects of feeding heat-treated colostrum on passive transfer of immune and nutritional parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science.* 90:5189-5198. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0219>

KALBERMATTER C, Fernandez TN, Christensen S, Ganai-Vonarburg C. 2021. Maternal microbiota, early life colonization and breast milk drive immune development in the newborn. *Frontiers in Immunology.* 12:683022. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.683022>

KERTZ AF, Hill TM, Quigley JD, Heinrichs AJ, Linn JG, Drackley JK. 2017. A 100-Year Review: Calf nutrition and management. *Journal of Dairy Science.* 100:10151-10172. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13062>



LENDEZ PA, Martinez CL, Nieto FMV, Vater AA, Ghezzi MD, Mota-Rojas D, Dolcini GL, Ceriani MC. 2021. Alterations in TNF- $\alpha$  and its receptors expression in cows undergoing heat stress. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 235:110232. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2021.110232>

LOMBARD J, Urie N, Garry F, Godden S, Quigley J, Earleywine T, McGuirk S, Moore D, Branam M, Chamorro M, Smith G, Shivley C, Catherman D, Haines D, Heinrichs AJ, James R, Maas J, Sterner J. 2020. Consensus recommendations on calf and herd level passive immunity in dairy calves in the United States. *J. Dairy Sci*. 103:7611-7624. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17955>

LORA I, Flaviana G, Contiero B, Dall AB, Bonfantic L, Stefanic A, Barberio A. 2018. Association between passive immunity and health status of dairy calves under 30 days of age. *Preventive Veterinary Medicine*. 152:12-15. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.01.009>

MCGUIRK SM, Collins M. 2004. Managing the production, storage and delivery of colostrum. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*. 20(3):593-603. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.005>

MORIN DE, McCoy GC, Hurley WL. 1997. Effects of quality, quantity, and timing of colostrum feeding and addition of a dried colostrum supplement on immunoglobulin G<sub>1</sub> absorption in Holstein bull calves. *Journal of Dairy Science*. 80(4):747-753. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75994-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75994-0)

MORIN DE, Nelson SV, Reid ED, Nagy DW, Dahl GE, Constable PD. 2010. Effect of colostrum volume, interval between calving and first milking, and photoperiod on colostrum IgG concentrations in dairy cows. *J Am Vet Med Assoc*. 237:420-428. <https://doi.org/10.2460/javma.237.4.420>

PUPPEL K, Gołębiewski M, Grodkowski G, Słószarz J, Kunowska-Słószarz M, Solarczyk P, Łukasiewicz M, Balcerak M, Przysucha T. 2019. Composition and factors affecting quality of bovine colostrum: A Review. *Animals*. 9(12):1070. <https://doi.org/10.3390/ani9121070>

PRITCHETT LC, Gay CC, Besser TE, Hancock DD. 1991. Management and production factors influencing immunoglobulin g<sub>1</sub> concentration in colostrum from Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 74:2336-2341. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78406-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78406-3)

QUIGLEY JD, Strohbehn RE, Kost CJ, O'Brien MM. 2001. Formulation of colostrum supplements, colostrum replacers and acquisition of passive immunity in neonatal calves. *Journal of Dairy Science*. 84(9):2059-2065. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74650-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74650-4)



SEYED ALMOOSAVI, SM, Ghoorchi T, Naserian AA, Ramezanpor SS, Ghaffari MH. 2020. Long-term impacts of late-gestation maternal heat stress on growth performance, blood hormones and metabolites of newborn calves independent of maternal reduced feed intake. *Domest. Anim. Endocrinol.* 72:106433. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.106433>

SHIVLEY CB, Lombard JE, Urie NJ, Haines DM, Sargent R, Koprak CA, Earleywine TJ, Olson JD, Garry FB. 2018. Preweaned heifer management on US dairy operations: Part II. Factors associated with colostrum quality and passive transfer status of dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science.* 101(10):9185-9198. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14008>

SOUFLERI A, Banos G, Panousis N, Fletouris D, Arsenos G, Kougioumtzis A, Valergakis GE. 2021. Evaluation of factors affecting colostrum quality and quantity in Holstein dairy cattle. *Animals.* 11(7):2005. <https://doi.org/10.3390/ani11072005>

YAYLAK E, Yavuz, M, Özkaya S. 2017. The effects of calving season and parity on colostrum quality of Holstein cows. *Indian Journal of Animal Research.* 51(3):594-598. <https://doi.org/10.18805/ijar.11470>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>









Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-16. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.8>  
Artículo Original. Recibido:10/07/2023. Aceptado:19/04/2024. Publicado:25/05/2024. Clave: e2023-22.  
<https://www.youtube.com/watch?v=D3VT1UbcrgY>

## Estimación de metano en corderos bajo condiciones de estiaje con dieta de mantenimiento y probióticos



Estimation of methane in lambs under dry conditions with a maintenance diet and probiotics

Carlos Meza-López<sup>1\*</sup> , Rómulo Bañuelos-Valenzuela<sup>1\*\*</sup> , Francisco Echavarría-Cháirez<sup>2</sup> , Lucía Delgadillo-Ruiz<sup>3</sup> , Eladio Delgadillo-Ruiz<sup>4</sup> , Norma Gaytan-Saldaña<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Panamericana Zacatecas-Fresnillo, Km 31.5 Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. CP. 98500  
<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Zacatecas, México. CP. 98500 Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Biológicas. Avenida Preparatoria s/n colonia Hidráulica, CP. 98068, Zacatecas, Zacatecas, México. <sup>4</sup>Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil Ambiental, Av. Juárez #77, Col. Centro, Guanajuato, Guanajuato. C.P. 36000. \*Autor responsable: Carlos Meza-López. \*\*Autor de correspondencia: Rómulo Bañuelos-Valenzuela. E-mail: carmezlop@yahoo.com.mx, apozolero@hotmail.com, fechava1@yahoo.com, luciadeldgadillo@uaz.edu.mx, e.delgadillo@ugto.mx, gaytanangelica1@gmail.com

### RESUMEN

El propósito fue estimar emisiones de metano y óptimo económico en ovinos bajo condiciones de estiaje con dieta de mantenimiento, al comparar biopreparados de microorganismos no comercial (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE) a diferentes concentraciones en ovinos en el semiárido de Zacatecas. El experimento se efectuó en El Remolino, Juchipila, Zacatecas, se utilizaron 21 ovinos cruce Katahdin X Dorper con peso de 14.3±1.74 kg y dieta de mantenimiento. El PNC se incluyó en T1 (100%), T2 (66%), T3 (33%), y un testigo T4, mismas condiciones se aplicaron al PCRE en T5 (100%), T6 (66%), y T7 (33%). Se registró el peso, se obtuvieron muestras de contenido ruminal para cuantificar ácidos grasos volátiles (AGV's), metano y amoníaco. Se realizó un análisis de varianza y se calcularon funciones de respuesta para identificar el óptimo económico. Sobresale el tratamiento T2, que utilizó el PNC y mostró la mayor cantidad de AGV's con una producción intermedia de metano, sin embargo, el mejor tratamiento fue T6 PCRE del biopreparado de microorganismos ya que mostró consistencia en la producción de AGV's y menor concentración de metano, pero con una inversión mayor y menor ganancia económica. Los biopreparados de microorganismos son una opción para productores de ovinos con menor capacidad de inversión en el semiárido de Zacatecas.

**Palabras clave:** ovinos, metano, costo, alimento.

### ABSTRACT

The purpose was to estimate methane emissions and economic optimum in sheep under dry conditions with a maintenance diet, compare biopreparations of non-commercial microorganisms (PNC) and commercial probiotic REVET® (PCRE) at different concentrations in sheep in the semi-arid of Zacatecas.



The experiment was carried out in El Remolino, Juchipila, Zacatecas, 21 Katahdin X Dorper cross sheep weighing  $14.3 \pm 1.74$  kg and maintenance diet were used. The PNC was included in T1 (100%), T2 (66%), T3 (33%), and a control T4, while the same conditions were applied to the PCRE in T5 (100%), T6 (66%), and T7 (33%). Weight was recorded and rumen content samples were obtained to quantify volatile fatty acids (VFAs), methane and ammonia. An analysis of variance was performed, and response functions were calculated to identify the economic optimum. Treatment T2 stands out, which used the PNC and showed the highest amount of VFAs with an intermediate production of methane, however, the best treatment was T6 PCRE of the microorganism biopreparation since it showed consistency in the production of VFAs and less methane concentration, but with a higher investment and lower economic gain. Microorganism biopreparations are an option for sheep producers with less investment capacity in the semi-arid region of Zacatecas.

**Keywords:** sheep, methane, cost, food.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la producción de rumiantes contribuye con 18 % del total de gases de efecto invernadero (GEI); principalmente por las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ) por fermentación entérica, el  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$  ( $\text{CO}_2$  equivalente. 1ton  $\text{CH}_4=25$  ton  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$ ) son atribuidas a las especies ganaderas de mayor explotación en el mundo, son del orden de 8077 Gton de  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$  por año (Gerber *et al.*, 2017); de las cuales 5024 Gton corresponden a bovinos (62.2%) y 596 Gton a pequeños rumiantes (7.37%). Las emisiones de metano de los rumiantes constituyen una de las más importantes fuentes antropogénicas de gases de efecto invernadero, y representan un problema importante con respecto al impacto de la agricultura en el cambio climático y el medio ambiente; al mismo tiempo, hay una necesidad de aumentar la generación de alimentos (Lima *et al.*, 2019).

Los poligástricos poseen bacterias ruminales que producen metano como subproducto de la fermentación del alimento; si estos comen más, la producción de metano aumenta; ya que las bacterias del rumen usan energía para producir metano, lo que es proporcional a la ingesta. En general, el metano producido por el ganado contribuye cerca del 10% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Paganoni *et al.*, 2017).

La búsqueda de soluciones en la disminución de emisiones de GEI, son la evaluación de técnicas de manejo sencillas, que contribuyan a la mitigación. Se pueden reducir las emisiones del sector ganadero si se reduce la producción y el consumo de productos pecuarios, o reduciendo la intensidad de las emisiones de metano; también por una combinación de ambos. De acuerdo con el modelo de evaluación ambiental de la ganadería mundial, se pudiera lograr una disminución de hasta 244 Gt en pequeños rumiantes, a nivel mundial; al lograr que la mayoría de los ganaderos utilicen las prácticas tecnológicas del 10% de los productores con menor intensidad de emisiones; esto, manteniendo constante la producción (Gerber *et al.*, 2017). Diversas estrategias de



mitigación de CH<sub>4</sub> han sido investigados; entre ellos los cambios nutricionales, la selección de crías de bajas emisiones de CH<sub>4</sub>, o la manipulación y manejo del rumen (Wanapat *et al.*, 2013).

Dentro de las alternativas para la reducción de las emisiones GEI, están los probióticos; los cuales han sido ampliamente utilizado en rumiantes para mejorar la ingesta de materia seca; y por lo tanto, la productividad especialmente en animales bajo condiciones de estrés (Molina, 2019), como en el semiárido zacatecano. La *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura, cuya inclusión en las dietas de rumiantes mejora la utilización de forrajes de baja calidad y un aumento de la producción de leche. Asimismo, su inclusión incrementa el consumo de materia seca, materia orgánica, proteína cruda y la ingesta de fibra detergente neutra, pero sin afectar el rendimiento del peso corporal (Khattab *et al.*, 2020). Los probióticos son cultivos simples o mezclados de microorganismos vivos, que aplicados a los animales o incluso al hombre, benefician al hospedero, toda vez que mejoran las propiedades de la microflora intestinal original (Delgado *et al.*, 2019).

El término "probiótico" es reservado para fórmulas o productos que cumplen estrictamente criterios definidos, el más importante de estos criterios incluye un recuento apropiado de células viables, un efecto benéfico sobre la salud del huésped (que también puede involucrar estímulos con relación al crecimiento), e incluso un efecto favorable sobre la función del tracto alimentario. La eficacia de preparaciones probióticas depende de numerosos factores, entre otras, la selección de cepas bacterianas y aplicación de la dosis correcta. Debido a su efecto favorable en la salud y la estimulación del crecimiento, los probióticos son ampliamente utilizados en alimentos para animales (Markowiak & Ślizewska, 2018).

Los sistemas de producción de carne de ovino, bajo condiciones de pastoreo extensivo del norte de México, son afectados por periodos secos anuales, que se extienden generalmente a partir de enero a junio (Echavarría *et al.*, 2006). En este escenario, la disponibilidad de forraje y su calidad, son factores limitantes que reducen la productividad animal y la rentabilidad económica. Para mitigar el efecto de baja disponibilidad y baja calidad de la dieta usada, se pretende lograr una mejoría con el uso de probióticos, al incrementar la calidad nutritiva de la dieta utilizada; la cual está basada en rastrojo de maíz con una reducida cantidad de grano y un reducido porcentaje de alfalfa molida; para simular la dieta de mantenimiento comúnmente usada en condiciones de sequía.

Por lo anterior, el propósito fue estimar las emisiones de metano y determinar el óptimo económico en ovinos en estiaje, con dieta de mantenimiento para comparar un biopreparado de microorganismos no comerciales (PNC), y el probiótico comercial REVET® (PCRE); ambos a diferentes concentraciones en el semiárido zacatecano.



## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio de los ovinos

El estudio se realizó en la comunidad de El Remolino, en el municipio de Juchipila, Zacatecas, México; localizado entre 103°07'26.15" de Latitud Norte y 21°21'48.10" de Longitud Oeste, a 1220 msnm (INEGI, 2021). Se emplearon 21 ovinos de la craza Katahdin X Dorper, distribuidos en dos grupos los tratamientos del PNC y PCRE®; la dosis recomendada por el fabricante es tres gramos por día en ovinos; la edad oscilaba entre de 59±5 días; pesos media de 14.3±1.7 kg, alojados en condiciones similares en corraletas individuales de malla de alambre, comederos de canoa, bebederos cubeta de 20 litros, donde se ofrecía el probiótico.

### Dieta y análisis del alimento de los corderos bajo condiciones de estiaje

La dieta de mantenimiento de los ovinos en cuestión, incluyó: un 70% de rastrojo de maíz molido, 15% de alfalfa molida, 5% de grano de maíz, 8% de melaza, 1.5% de bicarbonato, 0.1% de mezcla de vitaminas y minerales; así como un 0.4% de sal común. El contenido bromatológico de la mezcla de alimento para los ovinos en crecimiento fue: materia seca (MS) (89.8%), humedad (10.4%), proteína cruda (PC) (8.3%), fibra detergente ácida (FDA) (24.4%), fibra detergente neutra (FDN) (38.8%), carbohidratos no fibrosos (CNF) (27.3%), almidón (8.3%), grasa cruda (GC) (2.0%), total de nutrientes digestibles (TND) (56%), energía neta de lactancia (ENI) (1.25 Mcal/kg), energía de mantenimiento (ENm) (1.23 Mcal/kg), energía neta de ganancia (ENg) (71 Mcal/kg) y cenizas (13.21%).

### Administración de tratamientos con diferentes dosis de PNC y PCRE

El probiótico se ofreció en los seis litros de agua todos los días a las 08:00 am, siendo los siguientes: T1-PNC (100% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T2-PNC (66% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T3-PNC (33% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T4-testigo (0% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T5-PCRE (100% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T6-PCRE (66% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta) y T7-PCRE (33% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta). La aplicación de las diferentes dosis del biopreparado de microorganismos no comercial (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE), fue adicionada en el agua, la cual estaba *ad libitum* (El-Sayed & Mousa, 2020).

### Elaboración del PNC en fase solida

Para la elaboración del PNC se utilizaron 40 kg de salvado de trigo Y 20 kg de mantillo forestal (materia orgánica en descomposición), el cual contiene los microorganismos desarrollados en condiciones naturales de montaña; una solución de 0.5 kg de melaza en cinco litros de agua y un barril de plástico con capacidad de 100 litros. En la preparación de PNC sólido, se colocaron los 40 kg de salvado sobre una superficie limpia, se agregaron los 20 kg de mantillo forestal, luego se humedece con la solución de melaza



y evitar el exceso de humedad; se mezcla todo. Finalmente se coloca la mezcla en un barril, se compacta y se sella. Se destapó el barril cada dos o tres días, para permitir la liberación de gases. El PNC sólido está listo después de 30 días (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

### **Elaboración del PNC líquido a partir de la porción sólida**

Para la elaboración del PNC líquido, se tomaron ocho kg de PNC sólido, introducidos envueltos en una manta como bolsa de té en 100 litros de agua, con cinco kg de melaza; dejando reposar por dos horas. Transcurrido el tiempo la solución está lista para usarse. Se caracterizó el contenido de microorganismos presentes en la solución; se reportan: Mesófilos  $1.94 \times 10^7$  UFC/100mL, Lactobacilos  $1.6 \times 10^6$  UFC/100mL, *S. aureus*  $4.2 \times 10^4$  UFC/100mL, *Candida*  $5.5 \times 10^3$  UFC/100mL, *E. coli*  $1.18 \times 10^6$  UFC/100mL, Hongos  $4.0 \times 10^5$  UFC/100mL y Levaduras  $4.27 \times 10^7$  UFC/100mL (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

### **Propiedades atribuidas al PCRE en corderos**

El probiótico del PCRE® líquido de administración, coadyuva: al equilibrio de microorganismos intestinales en ovinos, previene la disfunción ruminal, aumenta la síntesis microbiana, mantiene el equilibrio y las condiciones óptimas de la flora del rumen. Las dosis recomendadas por el fabricante es tres gramos por día en ovinos (peso promedio de 45 kg) contiene *Lactobacillus acidophilus*  $7.3 \times 10^{18}$  UFC/100mL, *Streptococcus faecium*  $1.1 \times 10^6$  UFC/100mL y *Saccharomyces cerevisiae*  $3.6 \times 10^{11}$  UFC/100mL (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

### **Condiciones de manejo de los corderos en tratamiento**

Para la evaluación del efecto del biopreparado de microorganismos (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE) en los animales, la edad promedio es de  $59 \pm 5$  días, pesos promedio de  $14.3 \pm 1.7$  kg; alojados en condiciones homogéneas en corraletas individuales de malla de alambre, comederos de canoa, cubeta de 20 litros como bebedero (El-Sayed & Mousa, 2020; Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

### **Parámetros evaluados y condiciones**

La ganancia de peso se determinó por diferencias entre el peso final y el peso inicial de los ovinos, utilizados en el estudio. La toma de muestras para AGV's y amoniaco se realizó cada mes. Para esta determinación se extrajeron las muestras por medio de una sonda orofaríngea; se toman 5 mL en un tubo cónico y agregar 1 mL de ácido metafosfórico. Para esterificar los AGV's presentes, tomar otros 5 mL; para la determinación de amoniaco las muestras se congelaron inmediatamente para su estudio posterior. La determinación de AGV's se efectuó mediante un cromatógrafo de gases (CG) de la marca Agilent Technologies serie 6890N; se empleó una columna polar DB\_WAXetr. Las condiciones de trabajo fueron, temperatura después de la inyección



250°C, a una presión de 12.13 psi, con un flujo de He 36.5 mL/min. Al Utilizar un detector de flama ionizante (FID), a una temperatura de 210°C, con un flujo de H<sub>2</sub> de 40 mL/min y un flujo de aire de 450 mL/min (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2019; Gallegos-Flores *et al.*, 2019). La toma de la muestra fue a las 48 horas de digestibilidad. Se determinaron cuantitativamente las concentraciones de tres ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico y butírico). El metano se estimó a partir de la concentración de AGV's, mediante la aplicación del modelo matemático establecido por Moss *et al.* (2000), donde se señala que la producción de CH<sub>4</sub> se puede calcular de forma estequiométrica; se usa la siguiente ecuación:

$$\text{CH}_4 = 0.45 \text{ C}_2 - 0.275 \text{ C}_3 + 0.4 \text{ C}_4 \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

CH<sub>4</sub>= Concentración de metano (mmol/L)

C<sub>2</sub>= Concentración de ácido acetato (mmol/L)

C<sub>3</sub>= Concentración de ácido propionato (mmol/L)

C<sub>4</sub>= Concentración de ácido butírico (mmol/L)

La determinación de amoniaco se realizó mediante el método colorimétrico del azul de indofenol (Islam *et al.*, 2021). La sensibilidad del método es de 0-2 µg/L.

### **Análisis estadístico**

Para el análisis de la información se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Debido a que se realizaron muestreos mensuales, la información se analizó mediante un análisis de medidas repetidas, mediante el programa estadístico SAS® y la prueba de comparación de medias fue la diferencia mínima significativa (LSD) ( $\alpha=0.05$ ). Adicionalmente se utilizó la prueba de chi cuadrada, y para el análisis integral se generaron funciones de respuesta por medio de regresión múltiple, con las que se realizó la identificación del óptimo económico (SAS, 2021).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La ganancia de peso acumulada ( $P<0.05$ ) en el transcurso del experimento durante 107 días (tabla 1); en este caso, la tasa de crecimiento proviene del análisis de medidas repetidas, lo que permitió distinguir la respuesta al uso de los tratamientos en términos de peso medio y peso final. Se presentaron diferencias entre tratamientos ( $P<0.05$ ); siendo el tratamiento 6 (66% PCRE) el que produjo las mayores ganancias de peso, seguido del tratamiento 7 (100% PCRE). Los pesos al final del estudio muestran al mismo tratamiento 7, seguido del tratamiento 5 (33% PCRE). Del grupo de tratamientos con PNC sólo el Tratamiento 2 superó al testigo.



**Tabla 1. Valores de los pesos de corderos en crecimiento con tratamiento de PNC y PCRE**

Tratamiento	Peso medio (kg)	Tratamiento	Peso Final (kg)
T6 PCRE	21.25 <sup>a</sup>	T6 PCRE	27.0
T7 PCRE	20.14 <sup>ab</sup>	T5 PCRE	24.0
T5 PCRE	19.28 <sup>abc</sup>	T7 PCRE	23.7
T4 testigo	18.50 <sup>bc</sup>	T2 PNC	23.0
T2 PNC	17.65 <sup>bc</sup>	T4 testigo	22.9
T1 PNC	17.02 <sup>c</sup>	T1 PNC	21.3
T3 PNC	16.74 <sup>c</sup>	T3 PNC	16.7

\*Literales distintas entre columna indican diferencia significativa entre tratamientos ( $P < 0.05$ ). PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET.

Autores como [Bueno & Lemes \(2008\)](#) y [López \*et al.\* \(2015\)](#), han reportado el uso de microorganismos eficientes en nutrición animal, fundamentalmente en bovinos; pero no utilizaron microorganismos autóctonos eficientes, y sin enfocarlo a ovinos en condiciones de dieta de mantenimiento bajo condiciones de sequía; de ahí la importancia de esta investigación. La GNP obtenida con la ración de mantenimiento administrada y la adición del PNC y el PCRE, generó diferencias al PCRE; pero al analizar las tasas de GNP entre muestreos, no presentaron diferencias entre tratamientos ( $P < 0.05$ ); lo que mostró la efectividad de ambos productos. Los tratamientos con mayor tasa de GDP fueron T6 PCRE, con una ganancia de peso en promedio de 3.94 kg/muestreo, T2 PNC con 3.49 kg/muestreo y T1 PNC con 3.20 kg/muestreo; siendo mejores en la ganancia de peso que los tratamientos testigos; obteniendo resultados muy similares a los valores de [López \*et al.\* \(2015\)](#), en el que incluyó un probiótico (sorvifauna) en la alimentación de corderos al destete.

El efecto de respuesta a las dosis de PNC y PCRE sobre perfiles de AGVs de ácido acético, propiónico, butírico, la relación ácido acético/propiónico (A/P) y de la determinación de metano, se observan en la tabla 2. Los valores por tratamiento de la relación A/P, no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ni en la interacción. Sin embargo, cabe mencionar que la relación A/P influye en la producción de metano y entre microorganismos presentes en probióticos. Destaca el T2 PNC como uno de los que generan valores que producen menor cantidad de metano, seguido de T3 PNC y el T6 del PCRE.

La inclusión del biopreparado de microorganismos (PNC), como se muestra en los resultados, tuvo mayor efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en los niveles de ácidos grasos volátiles a nivel ruminal, que la inclusión del probiótico comercial REVET® (PCRE); pero sólo en la interacción a través del tiempo. Siendo la diferencia significativa para los niveles de ácido acético y butírico, para los niveles de ácido propiónico la inclusión del biopreparado de microorganismos y probiótico comercial REVET® (PCRE) fueron muy



similares; pero al observar que los dos tratamientos son efectivos en aumentar las concentraciones de los AGV's, debido a que existe una tendencia a menores o igual concentraciones de estos ácidos en tratamientos testigo. En la investigación de [Suárez-Machín & Guevara-Rodríguez \(2017\)](#), usaron *Saccharomyces cerevisiae* como probiótico; registraron un aumento en la concentración mmol/L de AGV's totales en contenido ruminal, pero no afectaron las proporciones de la relación A/P, resultados muy similares a este trabajo.

**Tabla 2. Concentración (mmol/L±DE) de ácidos grasos volátiles acético propiónico y butírico, relación A/P y Metano en los cuatro tiempos de muestreo en los tratamientos de PNC y PCRE**

	T1 PNC	T2 PNC	T3 PNC	T4 Testigo	T5 PCRE	T6 PCRE	T7 PCRE
	Acético						
M1	41.79±0.00	45.44±2.30	38.32±4.98	30.37±4.82	41.26±8.90	54.01±4.66	0.66±0.00
M2	36.72±5.98	25.07±13.27	39.88±2.35	34.84±0.00	50.72±9.65	34.98±6.18	36.62±5.12
M3	40.12±0.00	36.76±0.00	35.78±0.00	40.57±0.00	46.34±0.00	42.71±0.00	45.92±0.00
M4	45.08±2.33	43.67±4.87	30.55±3.62	32.59±0.00	32.59±2.92	24.68±1.67	35.24±0.91
	Propiónico						
M1	14.30±11.92	5.20±2.79	4.84±1.92	3.17±3.19	5.62±2.17	11.82±2.77	0.16±0.00
M2	6.27±2.67	2.79±0.00	3.73±1.19	3.30±0.00	5.36±0.23	1.39±0.58	2.44±2.59
M3	8.22±0.00	7.97±0.00	8.98±0.00	6.96±0.00	8.00±0.00	7.33±0.00	4.60±0.00
M4	3.30±0.58	12.38±13.03	3.70±2.37	1.26±0.00	1.82±0.98	7.27±2.88	8.50±4.48
	Butírico						
M1	0.59±0.16	0.60±0.03	0.48±0.09	0.59±0.17	0.61±0.08	0.62±0.18	0.15±0.21
M2	0.47±0.02	0.35±0.11	0.47±0.22	0.35±0.02	0.38±0.05	0.31±0.02	0.33±0.05
M3	0.36±0.00	0.30±0.00	0.34±0.00	0.35±0.00	0.38±0.00	0.39±0.00	0.36±0.00
M4	0.39±0.04	0.51±0.06	0.38±0.16	0.52±0.08	0.48±0.06	0.42±0.04	0.58±0.04
	Relación A/P						
M1	4.48±3.73	10.07±4.96	8.38±2.29	17.94±16.56	7.60±1.35	4.65±0.69	4.21±0.00
M2	6.22±1.69	8.98±4.75	11.15±2.93	10.57±0.00	9.42±1.39	26.58±6.64	31.73±0.00
M3	4.88±0.00	4.61±0.00	3.99±0.00	5.83±0.00	5.80±0.00	5.83±0.00	9.99±0.00
M4	20.25±3.87	9.66±8.56	14.03±4.03	28.38±0.00	21.06±10.01	12.41±14	4.90±2.65
	Metano						
M1	15.18±3.15	19.29±0.29	16.13±1.76	13.05±1.37	17.29±3.39	21.36±1.28	0.31±0.08
M2	15.02±1.96	10.67±5.92	17.12±0.65	14.93±0.01	21.52±4.30	15.49±2.62	15.95±1.62
M3	15.98±0.00	14.51±0.00	13.81±0.00	16.52±0.00	18.85±0.00	17.40±0.00	19.56±0.00
M4	19.55±1.19	16.51±1.31	12.90±2.33	14.53±0.03	14.37±1.07	9.31±1.51	13.80±1.60

M1: tiempo cero. M2: mes 1 de experimento. M3: mes 2 de experimento, M4: mes 4 de experimento. DE: Desviación estándar. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET®

La relación A/P tampoco presentó una diferencia significativa entre tratamientos ( $P>0.05$ ), pero cabe mencionar que esta relación se ve reflejada en la producción de metano; sin embargo, uno de los objetivos específicos de este trabajo era determinar el efecto del biopreparado de microorganismos (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE) en la producción de metano. Entre más alta sea la proporción molar de esta relación, mayor es la producción de metano. La emisión de metano no sólo constituye un problema ecológico, también representa gran pérdida de la energía del alimento y disminuye la productividad de los animales. Se estima que más de 10% de la energía bruta que



contienen los alimentos, se pierde en forma de metano (Johnson *et al.*, 2000; Zhou *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista de la aportación de cada tratamiento a la producción de metano, y considerar la fórmula de Moss *et al.* (2000) (Ec 1); el acetato se multiplica por el coeficiente más alto (0.45), lo que significa que los valores altos de acetato están asociados a valores altos de producción de metano; en este caso, en los tratamientos que generan los valores más bajos y con tendencia a disminuir la producción de ácido acético es el tratamiento T3 de PNC y el tratamiento T6 de PCRE; lo que significa que los valores bajos del PNC reducen la generación de metano.

En lo referente a los valores medios por tratamientos (tabla 3), se encontró en T5 PCRE, T1 PNC y T6, PCRE, los valores más altos; lo que indica que ambos tratamientos fueron equivalentes en producción de ácido acético. En el análisis estadístico de los valores obtenidos de ácido acético, se encontraron diferencias entre tratamientos y en la interacción con el tiempo ( $P < 0.05$ ); siendo los T1, T2 PNC y el T7 PCRE, los que mantuvieron un crecimiento constante desde el inicio del estudio. Los tratamientos restantes disminuyeron sus valores, lo que generó diferencias ( $P < 0.05$ ) a través del tiempo; siendo los tratamientos T1 PNC y T2 PNC, los que mantienen valores altos y ascendentes, seguidos del T4 testigo; aunque con valores menores. En cambio, el T7 PCRE inicia desde valores muy bajos, y logra incrementar sus valores al final del periodo. Los valores medios de ácido propiónico se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3. Comparación de valores medios de ácido acético, butírico y metano**

Tratamientos	Acético mmol/L $\pm$ DE	Butírico mmol/L $\pm$ DE	Metano mmol/L $\pm$ DE
T1 PNC	40.92 $\pm$ 5.80 <sup>ab</sup>	0.453 $\pm$ 0.126 <sup>ab</sup>	16.43 $\pm$ 3.01 <sup>ab</sup>
T2 PNC	37.73 $\pm$ 10.24 <sup>bc</sup>	0.438 $\pm$ 0.129 <sup>abc</sup>	15.24 $\pm$ 4.68 <sup>bcd</sup>
T3 PNC	36.13 $\pm$ 5.35 <sup>bcd</sup>	0.416 $\pm$ 0.157 <sup>abcd</sup>	14.99 $\pm$ 2.68 <sup>bcd</sup>
T4 Testigo	34.59 $\pm$ 4.07 <sup>bcd</sup>	0.452 $\pm$ 0.126 <sup>ab</sup>	14.75 $\pm$ 1.27 <sup>bcd</sup>
T5 PCRE	42.72 $\pm$ 8.93 <sup>a</sup>	0.460 $\pm$ 0.103 <sup>a</sup>	18.00 $\pm$ 3.45 <sup>a</sup>
T6 PCRE	39.09 $\pm$ 12.81 <sup>ab</sup>	0.436 $\pm$ 0.127 <sup>abcd</sup>	15.89 $\pm$ 5.63 <sup>bc</sup>
T7 PCRE	29.60 $\pm$ 16.73 <sup>e</sup>	0.355 $\pm$ 0.188 <sup>cd</sup>	12.40 $\pm$ 7.01 <sup>f</sup>

Literales distintas entre columna indican diferencia significativa entre tratamientos y tiempo con un análisis de varianza ( $P < 0.05$ ). DE: Desviación estándar. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET<sup>®</sup>.

En el análisis estadístico no hubo diferencias entre tratamientos ( $P > 0.05$ ); sin embargo, es de considerar que los valores de ácido propiónico son los utilizados en la fórmula numérica de Moss *et al.* (2000). Para la producción de metano, tiene un coeficiente de valor reducido y de signo negativo, por lo que los valores altos de este ácido son de importancia, porque contribuyen numéricamente a la reducción en la producción de



metano. Aunque no hay significancia estadística, los tratamientos que generaron los valores más altos son el T1 PNC y T2 PNC, seguido de T5 PCRE y el T6 PCRE (tabla 3). Con valores medios desde 12.4 hasta 18.00. Por esta condición de mayor impacto en la disminución de metano, los tratamientos de PNC son de gran importancia al destacar el T1 PNC.

Existen diferencias en la producción de ácido butírico en su interacción con el tiempo ( $P < 0.05$ ). Esto se expresa en que todos los valores disminuyen en el periodo de estudio, con excepción del T7 PCRE que presenta los valores medios más bajos e incrementa sus valores. El resto de los tratamientos presentan valores medios altos, pero con tendencia a disminuir al final del estudio. El tratamiento que más ácido butírico produjo fue T5 PCRE y después el T1 PNC; resultados que se pueden observar en la tabla 3. Con base en el planteamiento de la fórmula de Moss *et al.* (2000) (Ec 1), el tratamiento T7 PCRE es el que menores valores medios presenta, y al final del estudio mostró el menor efecto en la producción de metano, seguido del T6 PCRE, T3 PNC y T2 PNC.

En la tabla 3 se muestran los resultados de los valores de producción de metano en la parte media del estudio, por lo que no reflejan el contenido final del estudio. Los valores estimados de metano mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos e interacción con el tiempo. Las siglas de comparación de medias indican que la menor concentración de metano se obtiene entre el tratamiento T3 y T2 de PNC; y por el lado del PCRE, es el T6 el que inicia con mayor valor de metano; aunque al final del estudio disminuye dramáticamente; lo que indica que dicha concentración también tiene un efecto favorable en la disminución de la concentración de metano.

Los resultados obtenidos de la producción de metano que se obtuvieron estequiométricamente por medio de la ecuación descrita por Moss *et al.* (2000) en este trabajo, indican que la mayor producción de metano se vio reflejada con la adición del PCRE, y en menor cantidad con el tratamiento de PNC, al tomar en cuenta que a mayor producción de metano se tendrá más pérdida de energía a nivel ruminal y mayores gases de efecto invernadero; con ello deducimos que la adición del biopreparado de microorganismos (PNC) es más eficiente que el probiótico comercial REVET® (PCRE), debido a que en el análisis estadístico los valores estimados de metano mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos e interacción. Como se describió previamente, al analizar la relación molar acético propiónico (A/P) en los distintos tratamientos, se observa que a medida que esta relación es más alta, se registra una mayor producción de metano. En este aspecto de disminución sobresale el T2 PNC, como el de menor relación de A/P.



La determinación de amoníaco a nivel ruminal, se realizó obteniendo una muestra de contenido ruminal. En la tabla 4, se observan los valores medios de la concentración de nitrógeno amoniacal en el líquido ruminal por tratamiento. El análisis de medidas repetidas no mostró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

Por otra parte, la concentración ideal de nitrógeno amoniacal en el rumen varía de 5 a 25 mg/dL de líquido ruminal [González et al. \(2010\)](#). En otro trabajo realizado por [Kholif et al. \(2021\)](#), manifiestan que la eficiencia microbiana máxima ocurre cuando la concentración de nitrógeno amoniacal en rumen se encuentra entre 5 y 8 mg/dL. Lo que respecta a los resultados obtenidos en este trabajo, las concentraciones de amoníaco a nivel ruminal para T1 PNC es de 6.60 mg/L (valor más alto obtenido); sigue siendo menor a las concentraciones normales antes mencionadas.

**Tabla 4. Concentración de amoníaco (mg/mL±DE) en cuatro muestreos**

Tratamientos	T1 PNC	T2 PNC	T3 PNC	T4 Testigo	T5 PCRE	T6 PCRE	T7 PCRE
M1	3.97±0.00 <sup>a</sup>	3.97±0.00 <sup>a</sup>	3.97±0.00 <sup>a</sup>	3.97±0.00 <sup>a</sup>	3.97±0.00 <sup>a</sup>	3.97±0.00 <sup>a</sup>	3.97±0.00 <sup>a</sup>
M2	6.60±0.03 <sup>a</sup>	4.42±1.24 <sup>a</sup>	3.32±4.69 <sup>a</sup>	3.97±1.63 <sup>a</sup>	5.78±0.02 <sup>a</sup>	3.70±0.47 <sup>a</sup>	2.23±1.60 <sup>a</sup>
M3	2.94±0.24 <sup>a</sup>	2.37±0.56 <sup>a</sup>	3.69±0.13 <sup>a</sup>	1.81±0.29 <sup>a</sup>	1.81±0.29 <sup>a</sup>	1.83±0.41 <sup>a</sup>	3.67±0.21 <sup>a</sup>
M4	4.35±0.33 <sup>a</sup>	4.22±1.45 <sup>a</sup>	5.52±0.59 <sup>a</sup>	2.91±0.15 <sup>a</sup>	3.49±1.34 <sup>a</sup>	3.88±0.90 <sup>a</sup>	2.80±0.53 <sup>a</sup>

M1: tiempo cero. M2: mes 1 de experimento. M3: mes 2 de experimento. M4: mes 4 de experimento. DE: Desviación estándar. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET®.

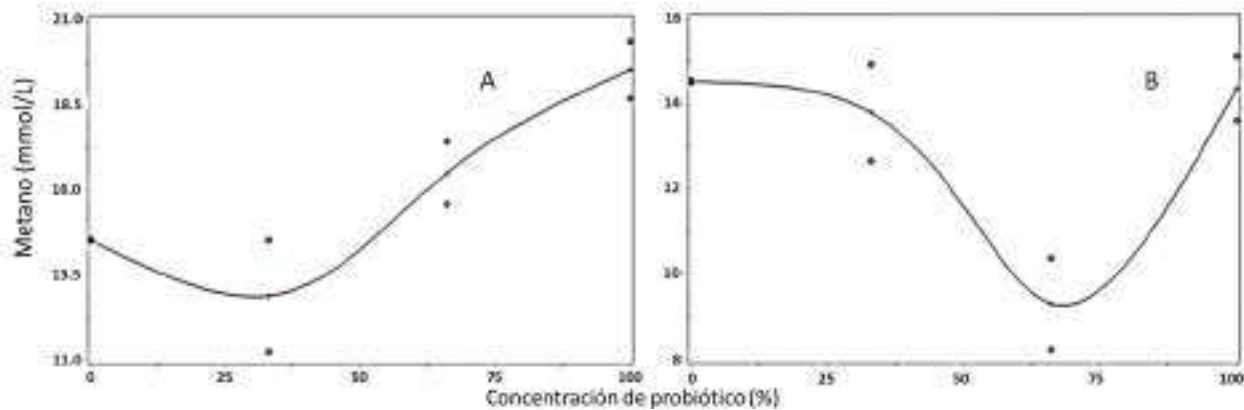
En la figura 1, se presentan las curvas obtenidas de las funciones de respuesta calculadas por regresión de los datos del análisis económico, a partir de los cuatro muestreos del estudio, relacionando las concentraciones de probiótico (PNC y PCRE) con la cantidad de metano estimado. Las ecuaciones son:

Producción de metano con probiótico PCRE:

$$\text{CH}_4 = 14.5345 + 0.1643 (\text{PCRE}) - 0.007628 (\text{PCRE})^2 + 0.00005968 (\text{PCRE})^3 \quad R^2 = 0.85$$

Producción de metano con biopreparado de microorganismos (PNC):

$$\text{CH}_4 = 14.5345 - 0.1880 (\text{PNC}) + 0.0050 (\text{PNC})^2 - 0.00002709 (\text{PNC})^3 \quad R^2 = 0.85$$



**Figura 1. Curvas calculadas con las funciones de respuesta de la relación de producción de metano y la concentración de PNC (A) y el PCRE (B)**

Los resultados del análisis de optimización económica se presentan en la tabla 5, que resumen la comparación económica del uso de los probióticos estudiados. Los valores de mayor ganancia económica y de menor producción de metano, se obtienen con la dosis de 70% del PCRE. En cambio, con la dosis del 90% del PNC, se obtiene su mayor ganancia de peso, pero también la mayor producción de metano; siendo una mejor opción el PCRE, aunque de menor ingreso económico. La mayor ganancia de peso y menor producción de metano se obtiene con el uso del PCRE. Los resultados indican que el mayor uso del probiótico, 70% en el PCRE y 90% en el PNC serían el mejor resultado, pero con la mayor producción de metano con el PNC. Por el contrario, si se busca la mayor ganancia de peso, sin importar las emisiones de metano, ésta se logra con valores menores del probiótico, tal como se observa en la figura 1B; donde menores concentraciones de PCRE, generan mayor emisión de metano.

**Tabla 5. Valores de ganancia, producción de metano y ganancia de peso en ovinos con el uso de dos probióticos**

Tratamiento	Dosis (%)	Costo variable (\$)	Metano	GP (kg)	Ingreso total	Metano (CH <sub>4</sub> /kg)	GP (kg/CH <sub>4</sub> )
PCRE	70	167.09	9.12	25.4	747.52	0.359	2.78
PNC	90	2.169	9.27	22.74	816.59	0.438	2.28

GP: ganancia de peso. CH<sub>4</sub>: metano. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET®.

En la tabla 6 se muestran los valores donde se logra un mayor ingreso económico, pero una mayor emisión de metano; dicha combinación implica el uso de dosis menores de ambos probióticos. En ambos casos, el PCRE logra una mayor ganancia de peso, pero un menor ingreso, debido a su alto costo. El PNC se presenta como una opción de menor inversión económica, pero una mayor producción de metano, y no genera la mayor ganancia de peso. En términos de inversión económica, el PNC es más apropiado a las



circunstancias económicas de productores de ovinos en condiciones de sequía que utilizan una dieta de mantenimiento y baja capacidad de inversión, pero con el PCRE se pueden reducir las emisiones de metano y mayor ganancia de peso, aunque requiere de mayor inversión.

**Tabla 6. Valores de ganancia, producción de metano y ganancia de peso en ovinos con el uso de dos probióticos**

Tratamiento	Dosis (%)	Costo variable (\$)	Metano (mmol/l)	GP (kg)	Ingreso total	Metano (CH <sub>4</sub> /kg)	GP (kg/CH <sub>4</sub> )
PCRE	60	143.22	9.82	25.52	775.77	0.384	2.59
PNC	75	1.687	11.43	24.21	869.96	0.472	2.11

GP: ganancia de peso. CH<sub>4</sub>: metano. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET<sup>®</sup>.

La diferencia en ganancia comercial se debe a que el valor de producción del PNC es muy bajo en comparación con PCRE; sin embargo, el PCRE genera una mayor ganancia de peso y un valor de producción de metano ligeramente menor, lo que produce un índice de unidad de metano por kg de carne producido menor que el PNC. Asimismo, la eficiencia de producción de kg de carne por unidad de metano es mayor. La ventaja para el PNC es la menor inversión económica necesaria y que los resultados de producción son semejantes. Los efectos sobre la calidad de la carne pudieran favorecer el uso de PNC, aunque esto no fue evaluado. Sin embargo, bajo el criterio de menor producción de metano, con el T3 PNC, T2 PNC y con T6 PCRE, se logran las menores emisiones de metano.

## CONCLUSIÓN

Se concluye que el mejor tratamiento fue T6 PCRE del biopreparado de microorganismos, ya que se observó consistencia en la producción de AGV's y menor concentración de metano; pero con una inversión mayor y menor ganancia económica. En el análisis de optimización económica, el óptimo fue de 75 al 90% en PNC, que genera mayor ganancia y cantidad de metano; el PCRE del 60 al 70% genera menor ingreso, pero menor cantidad de metano. El PNC es una opción para criadores de ovinos con menor capacidad de inversión; tal como se realiza la producción ovina en el semiárido zacatecano.

## LITERATURA CITADA

BUENO CA, Lemes NH. 2008. Microorganismos Eficientes en levante de novillas Brahman bajo pastoreo semi-intensivo suplementado en la región de Palmira, Valle del Cauca. *Revista Ciencia Animal*. 1(1):17-25.

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=ca>



DELGADILLO-RUIZ L, Bañuelos-Valenzuela R, Gallegos-Flores P, Meza-López C, Echavarría-Cháirez F, Valladares-Carranza B. 2022. Ruminant bacteria and protozoa present in sheep supplemented with probiotics identified by counting and PCR endpoint. *Abanico Veterinario*. 12. e2021-75. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.6>

DELGADILLO-RUIZ L, Bañuelos-Valenzuela R, Echavarría-Cháirez F, Gallegos-Flores PI, Meza-López C. 2019. Uso de extractos de plantas en la fermentación ruminal *in vitro*. *Abanico veterinario*. 9(1):1-17. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.917>

DELGADO FR, Barreto AG, Rodríguez TH. 2019. Efecto probiótico de *Saccharomyces cerevisiae* en la ganancia de peso de terneros Siboney de Cuba en pastoreo. *InfoCiencia*. 20(2):20-29. <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869112009/637869112009.pdf>

ECHAVARRÍA CFG, Gutiérrez LR, Rivera RIL, Ledezma R, Bañuelos VR, Aguilera SJI, Serna PA. 2006. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: I Vegetación nativa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 44(2):203-217.  
<https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1748>

EL-SAYED AA, Mousa SA. 2020. Effects of administration of probiotic on body growth and hematobiochemical profile in growing Barki lambs. *Comparative Clinical Pathology*. 29(1):297-303. <https://doi.org/10.1007/s00580-019-03057-z>

GALLEGOS-FLORES P, Bañuelos-Valenzuela R, Delgadillo-Ruiz L, Echavarría-Cháirez F, Meza-López C, Rodríguez-Tenorio D. 2019. Evaluación diferencial de extractos de orégano en la producción de ácidos grasos volátiles y metano durante fermentación ruminal *in vitro*. *Abanico veterinario*. 9:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.91>

GERBER P, Steinfeld H, Henderson B, Opio C, Mottet A, Robinson T, Falcucci A, Tempio G, MacLeod M, Vellinga T. 2017. The global livestock environmental assessment model. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 22-6.  
<https://www.fao.org/climatechange/42050-09ec47f2ffd4be66e383046681c07df00.pdf>

GONZÁLEZ GH, Martínez RR, Orozco AE, Perea HN, López BM, Holguín CL, Hernández HEC. 2010. Efecto del tipo de dieta y del grupo racial sobre el comportamiento digestivo en borregos: efecto del nivel de consumo y de la relación forraje, concentrado sobre el comportamiento digestivo en borregos. Colección Reportes Técnicos de Investigación. 2: 41. <http://www3.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/RTI/2015/ICB/-Digestibilidad.pdf>



INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Anuario Estadístico y geográfico por entidad federativa 2021.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463904847>

ISLAM MR, Bilkis S, Hoque TS, Uddin S, Jahiruddin M, Rahman MM, Alhomrani M, Gaber A, Hossain MA. 2021. Mineralization of farm manures and slurries for successive release of carbon and nitrogen in incubated soils varying in moisture status under controlled laboratory conditions. *Agriculture*. 11(9), e846.

<https://doi.org/10.3390/agriculture11090846>

JOHNSON DE, Johnson KA, Ward GM, Branine ME. 2000. Ruminants and other animals. *In Atmospheric Methane*, Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 112-133.

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-04145-1\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-04145-1_8)

KHATTAB M, Abdel-Wahed AM, Khattab AS, Anele UY, El-Keredy A, Zaher M. 2020. Effect of dietary probiotics supplementation on intake and production performance of ewes fed Atriplex hay-based diet. *Livestock Science*. 237, e104065.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104065>

KYAN T, Shintani M, Kanda S, Sakurai M, Ohashi H, Fujisawa A, Pongdit S. 1999. Kyusei nature farming and the technology of effective microorganisms. *Asia-Pacific Natural Agriculture Network*. <http://www.emturkey.com.tr/eskisite/TR/dosya/1-679/h/manuel-book.pdf>

KHOLIF AE, Hassan AA, El Ashry GM, Bakr MH, El-Zaiat HM, Olafadehan OA, Sallam SMA. 2021. Phytogenic feed additives mixture enhances the lactational performance, feed utilization and ruminal fermentation of Friesian cows. *Animal Biotechnology*. 32(6):708-718. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1746322>

LIMA PDMT, Crouzoulon P, Sanches TP, Zabré G, Kabore A, Niderkorn V, Hoste H, Amarante AFTD, Costa-Júnior LM, Abdalla AL, Louvandini H. 2019. Effects of *Acacia mearnsii* supplementation on nutrition, parasitological, blood parameters and methane emissions in Santa Inês sheep infected with *Trichostrongylus colubriformis* and *Haemonchus contortus*. *Experimental parasitology*. 207, e107777.

<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.107777>

LÓPEZ Y, Arece J, Ojeda F, Molina M. 2015. Efecto de la inclusión en la dieta del probiótico Sorbifauna sobre los crecimientos posdestete de ovinos estabulados. *Pastos y Forrajes*. 38(2):202-206. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n2/pyf08215.pdf>



MARKOWIAK P, Ślizewska K. 2018. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*. 10(1):1-20.

<https://gutpathogens.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13099-018-0250-0>

MOSS AR, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Annales de zootechnie*. 49(3): 231-253.

<https://doi.org/10.1051/animres:2000119>

MOLINA A. 2019. Probióticos y su mecanismo de acción en alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*. 30(2):601-611. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34432>

PAGANONI B, Rose G, Macleay C, Jones C, Brown DJ, Kearney G, Ferguson M, Thompson AN. 2017. More feed efficient sheep produce less methane and carbon dioxide when eating high-quality pellets. *Journal of Animal Science*. 95(9):3839-3850.

<https://doi.org/10.2527/jas2017.1499>

SAS, 2021. Institute Inc, "SAS software 9.3", en SAS Institute, Cary, NC, USA.

<https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/base/procstat93m1.pdf>

SUÁREZ-MACHÍN C, Guevara-Rodríguez CA. 2017. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de rumiantes. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 51(2): 21-30.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251004.pdf>

WANAPAT M, Kang S, Polyorach S. 2013. Development of feeding systems and strategies of supplementation to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 4(1):1-11.

<https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/2049-1891-4-32>

ZHOU Z, Meng Q, Yu Z. 2011. Effects of methanogenic inhibitors on methane production and abundances of methanogens and cellulolytic bacteria in in vitro ruminal cultures. *Applied and Environmental Microbiology*. 77(8):2634-2639.

<https://doi.org/10.1128/AEM.02779-10>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



**Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-9. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.10>**  
**Artículo Original. Recibido: 10/06/2023. Aceptado:28/11/2023. Publicado: 19/06/2024. Clave: e2023-107.**  
<https://www.youtube.com/watch?v=u9e-ZrnTxKU>

## **Coinfección con *Chlamydia abortus* y *Coxiella burnetii* en vacas, cabras y borregas que presentaron aborto**

Coinfection with *Chlamydia abortus* y *Coxiella burnetii* in cows, goats and ewes that had abortion



**Limón-González María<sup>1</sup>  ID, Flores-Pérez Carlos<sup>1</sup>  ID, Sánchez-Rodríguez Oliver<sup>1</sup>  ID, Hernández-Castro Rigoberto<sup>2</sup>  ID, Arellano-Reynoso Beatriz<sup>3</sup>  ID, Herrera-López Enrique<sup>4</sup>  ID, Palomares-Resendiz Erika<sup>\*4</sup>  ID**

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México. Estudiantes de Posgrado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, México. <sup>2</sup>Hospital General Dr. Manuel Gea González. Departamento de Ecología de Agentes Patógenos. México. <sup>3</sup>Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, México. <sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID Salud Animal e Inocuidad, México. \*Autor de correspondencia: CENID Salud Animal e Inocuidad, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Cuajimalpa, 05110, Ciudad de México, México. E-mail: mwmagda@hotmail.com, carlosflores04@live.com.mx, olivrt@hotmail.com, rigo31@yahoo.com, arerey@yahoo.com, herrera.enrique@inifap.gob.mx, palomares.erika@inifap.gob.mx

### **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue determinar la coinfección con *Chlamydia abortus* y *Coxiella burnetii*, en vacas, cabras y borregas que habían presentado aborto. Se trabajó con 77 muestras de exudado vaginal, 20 de vacas, 40 de cabras y 17 de borregas, el aislamiento bacteriano se realizó con células de fibroblastos de ratón L929. La identificación de cuerpos de inclusión en los cultivos infectados se realizó con la técnica de inmunofluorescencia directa (IFD) empleando el kit comercial IMAGEN *Chlamydia* test y la identificación molecular se logró mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) en tiempo real del gen *ompA* (específica de especie). El diagnóstico de *C. burnetii* se realizó mediante PCR. El aislamiento del cultivo celular y la PCR en tiempo real específica de especie revelaron la presencia de *C. abortus* en el 100% de las muestras. En este estudio el 81,8% (63/77) de las muestras fueron positivas para *C. burnetii*, mostrando coinfección con *C. abortus*; siendo el 55% (11/20) en vacas; 95% en cabras (38/40) y 82% (14/17) en borregas con antecedente de aborto, siendo este el primer reporte de esta situación en México.

**Palabras clave:** *Coxiella burnetii*, *Chlamydia abortus*, coinfección, rumiantes.

### **ABSTRACT**

The aim of this study was to determine the coinfection with *Chlamydia abortus* and *Coxiella burnetii*, in cows, goats, and sheep that had abortion. The study analyzed 77 vaginal swabs; animals included 20 cows, 40 goats and 17 sheep. Bacterial isolation was performed using L929 mouse fibroblasts. The identification of inclusion bodies in the infected cell cultures was carried out using the direct immunofluorescence (IFD) technique using an IMAGEN *Chlamydia* test kit (IMAGEN™ Thermo Scientific, USA) and molecular identification was achieved by *ompA* gene (species-specific) real-time polymerase chain reaction (PCR). PCR was used for the detection of *C. burnetii* DNA in vaginal swabs. The cell culture isolation and real-time PCR species-specific PCR revealed the presence of *C. abortus* in 100% of samples. In this study, 63 samples (81.8%) of the 77 collected samples were positive for *C. burnetii*, showing coinfection with *C. abortus*; being 55% in cows; 95% in goats, and 82% in sheep.



The results indicate that the coinfection caused by *C. abortus* and *C. burnetii* in cows, goats and sheep with a history of abortion, represents the first report in Mexico.

**Keywords:** *Coxiella burnetii*, *Chlamydia abortus*, coinfection, ruminants.

## INTRODUCCIÓN

La clamidiasis y la fiebre Q, son enfermedades zoonóticas, que ocasionan aborto en rumiantes, están presentes a nivel mundial y se ha demostrado su presencia en México, ambas enfermedades son causadas por bacterias intracelulares obligadas y Gram negativas. La clamidiasis en rumiantes es causa de abortos en el último tercio de la gestación, el nacimiento de crías débiles y de mortinatos; la principal especie causal es *Chlamydia abortus* (Fayez *et al.*, 2021). La clamidiasis en rumiantes fue considerada una enfermedad exótica en México hasta el mes de mayo de 2016, actualmente se encuentra en el grupo de las enfermedades endémicas que, por representar un riesgo menor desde el punto de vista epidemiológico, económico, de salud pública y de comercio nacional e internacional, son consideradas de notificación mensual obligatoria (DOF, 2018). En México hay numerosos reportes de su presencia en los rumiantes domésticos (Mora *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2021; Limón, 2022; Martínez *et al.*, 2022).

*Coxiella burnetii*, es el agente causal de la fiebre Q es una enfermedad de distribución mundial y en la actualidad es considerada exótica en México (DOF, 2018; Ramo *et al.*, 2022). Sin embargo, existen varios reportes en humanos y animales que permiten cuestionar dicha afirmación (Araujo-Meléndez *et al.*, 2012; Mares-Guía *et al.*, 2018; Leyva *et al.*, 2021; Flores *et al.*, 2022). Afecta a un número importante de especies animales, tanto domésticas: bovinos, caprinos, ovinos, perros, gatos, conejos; como salvajes: pequeños roedores, zorros (Mares-Guía *et al.*, 2018); siendo los rumiantes domésticos los principales reservorios (Muema *et al.*, 2022; Ramo *et al.*, 2022).

Tanto *C. abortus* como *C. burnetii*, se han asociado a la época de parto o aborto de los rumiantes infectados (Fayez *et al.*, 2021; Ramo *et al.*, 2022). Los rumiantes infectados con *C. abortus* y *C. burnetii* son la principal fuente de transmisión y en el momento del parto o aborto eliminan gran cantidad de microorganismos en la placenta, el feto y los fluidos fetales (Basanisi *et al.*, 2022, Ali *et al.*, 2022). El objetivo de este estudio fue determinar la coinfección por *C. abortus*, y *C. burnetii*, en muestras de exudado vaginal de vacas, cabras, y borregas, que habían presentado aborto.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó con 77 muestras de exudado vaginal, pertenecientes a 16 rebaños ubicados en diferentes estados del país, 20 muestras de vacas procedentes de siete hatos en los estados de: Chiapas, Ciudad de México, Hidalgo, Jalisco, Oaxaca, Sinaloa, y Sonora;



40 muestras de cabras de seis rebaños en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California Sur, Tlaxcala, Guanajuato, y Querétaro y 17 de borregas, que fueron colectadas en tres rebaños de tres estados: Aguascalientes, Estado de México y Querétaro; las muestras fueron colectadas en un periodo de tiempo no mayor a 15 días de presentarse el aborto.

A partir de las muestras obtenidas se realizó el aislamiento de *Chlamydia* spp en cultivo celular utilizando la línea celular L929 de fibroblastos de ratón, la identificación de cuerpos de inclusión en los cultivos infectados se realizó con la técnica de inmunofluorescencia directa (IFD) empleando el kit comercial IMAGEN *Chlamydia* test, se realizó la extracción de ADN de las muestras de hisopos vaginales positivos a cultivo celular. Este ADN sirvió de templado para las diferentes pruebas de biología molecular. Las extracciones se realizaron con el kit comercial Qiagen DNeasy Blood and Tissue (Qiagen, Alemania) siguiendo las indicaciones del fabricante. La detección de la especie de *Chlamydia* se realizó con una PCR tiempo real para detectar el gen *ompA* (Pantchev *et al.*, 2010)

La detección de *C burnetii* se realizó utilizando la técnica de PCR que identifica un fragmento de la secuencia de inserción múltiple IS1111 específica de *C. burnetii*. Los iniciadores utilizados fueron los reportados por De Bruin *et al.* (2011). Los componentes y las condiciones de reacción fueron modificados de lo reportado por De Bruin *et al.* (2011). En un volumen final de 37  $\mu$ L se utilizaron 20  $\mu$ L de TopTaq® Master Mix (250 unidades) (Qiagen, Germany), equivalente a 3 U de TopTaq®, 1.6 mM MgCl<sub>2</sub>, 213.34  $\mu$ M de dNTPs, además se añadieron 2.5 U de GoTaq® Flexi DNA Polymerase (500 unidades) (Promega, EE. UU.), 133  $\mu$ M de cada primer, 0.67x de Solución Q (Qiagen, Germany) y  $\approx$ 1000 ng de ADN. Las condiciones de la PCR comenzaron con una desnaturalización inicial a 94°C por 5 min, seguido de 33 ciclos de desnaturalización a 94°C por 30 s, alineación a 57°C por 40 s y extensión a 72°C por 45 s para terminar con la extensión final a 72°C por 10 min. Los productos de la PCR fueron analizados en geles de agarosa al 1% en TBE 1x. Posteriormente fueron visualizados en un fotodocumentador Gel Logic 212 Pro (Carestream, EE. UU.), utilizando 4  $\mu$ L de bromuro de etidio (0.04 mg).

## RESULTADOS

De los 16 rebaños analizados 15 tuvieron animales positivos a *C. burnetii* mostrando coinfección con *C. abortus*. En seis de los siete rebaños de vacas se presentó coinfección, sólo en el rebaño de Oaxaca las muestras analizadas fueron negativas a *C. burnetii*. De las muestras de las cabras, hubo animales positivos a *C. burnetii* en los seis rebaños analizados, lo mismo sucedió en los tres rebaños de borregas, mostrando, coinfección con *C. abortus*. Las 77 muestras de exudado vaginal resultaron positivas a *C. abortus*, para *C. burnetii* resultaron positivas el 81.8% (63/77) (Tabla 1).



## DISCUSIÓN

La importancia de este estudio radica en que, se logró demostrar la coinfección por dos bacterias intracelulares obligadas, *C. abortus* y *C. burnetii*, ambas causan en los rumiantes aborto y se diseminan en los hatos de una manera muy parecida, además de la importancia que tienen ambas enfermedades para la salud pública.

**Tabla 1. Resultados de coinfección**

Especie	Número de muestras	IFD +	<i>C. abortus</i> PCR tiempo real +	<i>C. burnetii</i> PCR +	Coinfección % <i>C. abortus</i> / <i>C. burnetii</i>
Vacas	20	20	20	11	11 (55%)
Cabras	40	40	40	38	38 (95%)
Borregas	17	17	17	14	14 (82%)
Total	77	77	77	63	63 (81.8%)

En México estas dos enfermedades tienen una historia muy similar con respecto al estatus en que son consideradas por las autoridades sanitarias veterinarias, centraremos la discusión en lo que puede ocasionar en los hatos de nuestro país la presencia de la fiebre Q, una enfermedad considerada como exótica, pero de la cual existen estudios de seroprevalencia en diferentes poblaciones de rumiantes ([Araujo-Meléndez et al., 2012](#); [Mares-Guía et al., 2018](#); [Leyva et al., 2021](#); [Flores et al., 2022](#)).

Lo que está sucediendo actualmente con la fiebre Q, repite lo que aconteció en nuestro país con la clamidiasis, de la cual existían publicaciones que demostraban su presencia en México. En el año 1997 se dio el primer reporte del aislamiento de la *Chlamydia* a partir de un aborto en caprinos ([Escalante et al., 1997](#)) posteriormente hubo otros reportes del aislamiento de cabras que habían abortado en diferentes regiones del país ([Mora et al. 2015](#); [Sánchez et al., 2021](#), [Limón et al., 2022](#)). También se ha confirmado la presencia de *C. abortus* de borregas que presentaron aborto ([Martínez et al., 2022](#); [Limón et al., 2022](#)), en bovinos también se ha demostrado su presencia mediante el aislamiento de *C. abortus* en vacas que presentaron aborto ([Limón, 2022](#)). Sin embargo, fue hasta el año 2016 cuando en México se cambió el estatus de la enfermedad de exótica a endémica.

Este estudio surge de la inquietud causada al referirnos a estudios de la coinfección entre las dos bacterias, uno de ellos fue realizado en Hungría, en el cual trabajaron con 111 placentas de casos de aborto, de las que realizaron el diagnóstico mediante PCR tiempo real para ambas bacterias, a *C. burnetii* resultaron positivas 33 muestras (29.7%), y detectaron bacterias del orden Chlamydiales, en 32 muestras (28%). Se encontró coinfección de *C. burnetii* y *Chlamydiales* spp. en 12 de los casos (10.8%), de ellos correspondieron tres a vacas, ocho a borregas y uno a cabra ([Kreizinger et al.,](#)



2015). Nuestro estudio presenta resultados más elevados que los de ese estudio, en las infecciones por *C. burnetii* y en las coinfecciones de ambas bacterias. Esto puede ser atribuido a que, en México para ambas enfermedades, existen las condiciones idóneas para su diseminación, además no se realiza un diagnóstico rutinario y esto hace que los animales infectados al no ser identificados sigan permaneciendo en los hatos, diseminando las bacterias en cada parición y lactación, contagiando a sus crías y a otros animales. Esta falta de diagnóstico permite también que se de la movilización de animales positivos hacia otros lugares del país, y por ende la consiguiente diseminación de ambas enfermedades.

Esta coinfección que se presenta en los rumiantes causa complicaciones para el médico veterinario que atiende los hatos que la padecen, ya que se dificulta el poder realizar un diagnóstico clínico adecuado, debido a que las dos enfermedades tienen como signo principal el aborto en el último tercio de la gestación. Esto se agrava en un país como México, debido al hecho de que la fiebre Q es considerada una enfermedad exótica, esto trae como consecuencia, que esta enfermedad no sea estimada como la etiología presente ni por el médico veterinario, ni por los técnicos de los laboratorios. Después de la infección, las hembras de rumiantes eliminan *C. burnetii* al medio ambiente durante el parto “normal” o durante el aborto, a través de los fluidos amnióticos, la placenta y las membranas fetales, así como mediante la orina, la leche y las heces (Pearson *et al.*, 2014; Ramo *et al.*, 2022).

En Alemania, se estudió la prevalencia de ambos patógenos en 95 rebaños ovinos donde solamente en tres de los rebaños se presentaron positivos, el rebaño con seroprevalencias para *C. burnetii* (27%) y *C. abortus* (44.9%) fue el más alto, además se detectó *C. burnetii* por PCR touchdown en el 21.6% de las muestras de placenta de partos normales y en el 12.5% de los calostros (Runge *et al.*, 2012). En un trabajo desarrollado en la península Ibérica se demostró la presencia de *C. burnetii* y *C. abortus* en cabras y borregas que habían abortado, el 75% de los animales dieron positivos en la PCR tiempo real (Ramo *et al.*, 2022).

Estudios posteriores realizados en Italia demostraron la presencia de la fiebre Q en humanos, estos presentan resultados más bajos de positivos a *C. burnetii* en las tres especies de rumiantes domésticos, que los encontrados en nuestro estudio. Nosotros al igual que ellos, tenemos la hipótesis de que la fiebre Q es una enfermedad subestimada en México, de la que ya se tienen antecedentes de su presentación en nuestro país (Santamaría, 2009). Pero como sucede con los animales, no se realiza un diagnóstico rutinario de la enfermedad, además, no existe un laboratorio especializado en este padecimiento. Aunque las dos enfermedades son zoonosis, la infección por *C. abortus* en el humano no es muy severa, en cambio la fiebre Q es un padecimiento más severo



y las vías de contagio son más numerosas y difíciles de evitar, la transmisión a los humanos se debe principalmente a la inhalación de aerosoles contaminados, pero también puede ocurrir después del consumo de leche cruda y de los productos lácteos (Basanisi *et al.*, 2022), el estiércol de los rumiantes infectados con la fiebre Q, ha sido implicado como fuente de contagio a los humanos (Mares-Guía *et al.*, 2018; Basanisi *et al.*, 2022).

### CONCLUSIÓN

Este es el primer reporte en México y en el Continente Americano de la coinfección de *C. abortus* y *C. burnetii* en vacas, cabras y borregas que habían presentado aborto. Esto se debe considerar para realizar un diagnóstico de laboratorio adecuado para ambas enfermedades en hatos con problemas reproductivos.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por SAGARPA CONACyT 2017-2-291311: “Desarrollo y transferencia de pruebas diagnósticas para Lentivirus y microorganismos causantes de aborto: *Chlamydia* spp., *Brucella melitensis*, *Leptospira* spp. y *Coxiella burnetii*, en ovinos y caprinos” y SEP-CONACYT-ANUIES-ECOS Francia 291241: Epidemiología y diversidad genética de *Chlamydiaceae* en rumiantes, industria avícola y aves silvestres: ¿Cuáles son sus implicaciones zoonóticas?”.

### LITERATURA CITADA

ALI H, Al-Bayati LH. 2022. Serological and histopathological investigation of *Chlamydia abortus* in aborted ewes in Wasit, Iraq. *Archives of razi institute*. 77(3):1105–1111. <https://doi.org/10.22092/ARI.2022.357270.2009>

ARAUJO-MELÉNDEZ J, Sifuentes OJ, Bobadilla JM, Aguilar CA, Torres AO, Ramirez GJ, Ponce A, Ruiz PG, Guerrero AM. 2012. What do we know about Q fever in Mexico? *Revista de investigación clínica*. 64(61):541-545. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23513611/>

BASANISI MG, La Bella G, Nobili G, Raele DA, Cafiero MA, Coppola R, Damato AM, Fracalvieri R, Sottili R, La Salandra G. 2022. Detection of *Coxiella burnetii* DNA in sheep and goat milk and dairy products by droplet digital PCR in south Italy. *International journal of food microbiology*. 366, e109583. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109583>



DE BRUIN A, De Groot A, De Heer L, Bok J, Wielinga PR, Hamans M, Van Rotterdam BJ, Janse I. 2011. Detection of *Coxiella burnetii* in complex matrices by using multiplex quantitative PCR during a major Q fever outbreak in The Netherlands. *Applied and environmental microbiology*. 77(18):6516-6523.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21784920/>

Diario oficial de la federación (DFO). 2018. Acuerdo mediante el cual se dan a conocer en los Estados Unidos Mexicanos las enfermedades y plagas exóticas y endémicas de notificación obligatoria de los animales terrestres y acuáticos. México.

[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5545304&fecha=29/11/2018](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545304&fecha=29/11/2018)

ESCALANTE OC, Díaz AE, Segundo ZC, Suárez GF. 1997. Isolation of *Chlamydia psittaci* involved in abortion of goats in Mexico: first report. *Revista latinoamericana de microbiología*. 39(3-4):117–121. PMID: 10932720.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10932720/>

FAYEZ M, Elmoslemany A, Alorabi M, Alkafafy M, Qasim I, Al-Marri T, Elsohaby I. 2021. Seroprevalence and risk factors associated with *chlamydia abortus* infection in sheep and goats in eastern Saudi Arabia. *Pathogens (Basel, Switzerland)*. 10(4):489.

<https://doi.org/10.3390/pathogens10040489>

FLORES PCF, Díaz AE, Palomares REG., Isidro RLM., Herrera LE, Hernández CR. 2022. Molecular identification of *Coxiella burnetii* in vaginal swabs from aborted goats in Mexico. *Small ruminant research*. 210, e106664.

<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106664>

KREIZINGER Z, Szeredi L, Árpád Bacsadi A, Nemes C, Sugár L, Varga T, Sulyok KM, Szigeti A, Ács k, Tóbiás e, Borel N, Gyuranecz M. 2015. Occurrence of *Coxiella burnetii* and Chlamydiales species in abortions of domestic ruminants and in wild ruminants in Hungary, Central Europe. *Journal of veterinary diagnostic investigation*. 27(2):206-210.

<https://doi.org/10.1177/1040638714563566>

LEYVA CJC, Palomares REG, Gutiérrez HJL, Herrera LE, Aguilar RF, Morales PMI, Mejía SP, Díaz AE. 2021. serological evidence of antibodies against *coxiella burnetii* in sheep flocks of México. *Journal of animal and veterinary advances*. 20(5):114-117.

<https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2021.114.117>

LIMÓN GM. 2022. Genotipificación de aislamientos de *Chlamydia* spp. obtenidos a partir de abortos en rumiantes. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000821694](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000821694)



LIMÓN GM, Hernández CR, Martínez HF, Xicohtencatl CJ, Ramírez AH, Palomares REG, Díaz AE. Genetic diversity of *Chlamydia pecorum* detected in sheep flocks from Mexico. 2022. *Brazilian journal of microbiology*. 53(2):605-613.  
<https://doi.org/10.1007/s42770-022-00682-9>

MARES-GUÍA M, Gutiérrez A, Rozental T, Ferreira MDS, Lemos ERS. 2018. Clinical and epidemiological use of nested PCR targeting the repetitive element IS1111 associated with the transposase gene from *Coxiella burnetii*. *Brazilian journal of microbiology*. 49(1):138-143. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.04.009>

MARTÍNEZ SMG, Palomares RG, Tórtora PJL, Ramírez AH, Ortega HN, Salinas LJ, Morales AJF, Cervantes MJJC, Díaz AE. 2022. Presence of *Chlamydia abortus* in colostrum, milk and vaginal discharge samples of sheep. *Revista colombiana ciencias pecuarias*. 35(3):165–173. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v35n2a04>

MORA DJ, Díaz AE, Herrera LE, Suárez GF, Escalante OC, Jaimes VS, Arellano RB. 2015. Isolation of *Chlamydia abortus* in dairy goat herds and its relation to abortion in Guanajuato, Mexico. *Veterinaria México oa*. 2(1). <https://doi.org/10.21753/vmoa.2.1.339>

MUEMA J, Nyamai M, Wheelhouse N, Njuguna J, Jost C, Oyugi J, Bukania Z, Oboge H, Ogoti B, Makori A, Fernandez MDP, Omulo S, Thumbi SM. 2022. Endemicity of *Coxiella burnetii* infection among people and their livestock in pastoral communities in northern Kenya. *Heliyon*. 8(10), e11133. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11133>

PANTCHEV A, Sting R, Bauerfeind R, Tyczka J, Sachse K. 2010. Detection of all Chlamydia and Chlamydia spp. of veterinary interest using species-specific real-time PCR assays. *Comparative immunology, microbiology and infectious diseases*. 33(6):473–484. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2009.08.002>

PEARSON T, Hornstra HM, Hilsabeck R, Gates LT, Olivas SM, Birdsell DM, Hall CM, German S, Cook JM, Seymour ML, Priestley, RA, Kondas AV, Clark Friedman CL, Price EP, Schupp JM, Liu CM, Price LB, Massung RF, Kersh GJ, Keim P. 2014. High prevalence and two dominant host-specific genotypes of *Coxiella burnetii* in U.S. milk. *BMC Microbiology*. 14:41. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-14-41>

RAMO MLA, Benito AA, Quílez J, Monteagudo LV, Baselga C, Tejedor MT. 2022. *Coxiella burnetii* and co-infections with other major pathogens causing abortion in small ruminant flocks in the iberian peninsula. *Animals (Basel)*. 12(24), e3454.  
<https://doi.org/10.3390/ani12243454>



RUNGE M, Binder A, Schotte U, Ganter M. 2012. Investigations concerning the prevalence of *Coxiella burnetii* and *Chlamydia abortus* in sheep in correlation with management systems and abortion rate in lower saxony in 2004. *Berliner und Munchener tierarztliche Wochenschrift*. 125(3-4):138–143.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22515032/>

SANTAMARÍA JR. 2009. Fiebre Q en el Estado de Hidalgo, México. Reporte de caso. *Perinatología y Reproducción Humana*. 23(1):34-37. ISSN 0187-5337.

<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=21247>

SÁNCHEZ RL. Arellano RB, Hernández CR, Palomares REG, Barradas PF, Díaz AE. 2021. Presence of *Chlamydia abortus* in goats with a history of abortions in Mexico. *Abanico veterinario*. 11(1), e2021-2. ISSN 2448-6132.

<http://dx.doi.org/10.21929/abavet2021.26>

Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-17. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.13>

Artículo Original. Recibido: 11/07/2023. Aceptado:25/05/2023. Publicado: 19/07/2024. Clave: e2023-23

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_xQI3ouuD6Q](https://www.youtube.com/watch?v=_xQI3ouuD6Q)

## Efecto del ajo en polvo (*Allium sativum*) sobre el rendimiento de crecimiento, composición bioquímica, utilización de nutrientes y supervivencia de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)



Effects of garlic powder (*Allium sativum*) on growth performance, biochemical composition, nutrient utilization, and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Gutiérrez-Leyva Ranferi\*<sup>1, 2</sup> , Carmona-Gasca Carlos<sup>3</sup> , Ramírez-Ramírez José<sup>1</sup> ,  
Rodríguez-Carpena Javier<sup>1</sup> , De-La-Cruz-Moreno Carlos<sup>1</sup> , Escalera-Valente  
Francisco\*\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nayarit, Academia Salud Pública Veterinaria, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Compostela-Chapalilla km 3.5, C.P. 63700, Compostela, Nayarit, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nayarit, Laboratorio de Análisis Especiales, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Compostela-Chapalilla km 3.5, C.P. 63700, Compostela, Nayarit, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Nayarit, Laboratorio de Biología Funcional, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Compostela-Chapalilla km 3.5, C.P. 63700, Compostela, Nayarit, México. \*Autor responsable: Gutiérrez-Leyva Ranferi. \*\*Autor de correspondencia: Escalera-Valente Francisco, Carretera Compostela-Chapalilla km 3.5, C.P. 63700, 013272771718, Compostela, Nayarit, México. E-mail: ranferi.gutierrez@uan.edu.mx, carmonagasca@uan.edu.mx, josec.ramirez@uan.edu.mx, german.rc@uan.edu.mx, carlosdelacruz@uan.edu.mx, fescalera@uan.edu.mx

### Resumen

El objetivo fue evaluar crecimiento, composición bioquímica, utilización de nutrientes, y supervivencia de la tilapia del Nilo al utilizar diferentes niveles dietarios de ajo en polvo en dos bioensayos de 30 días. Bioensayo 1: A 84 tilapias juveniles se les proporcionaron alimentos con 317 g/kg de proteína y una relación P/E de 16.7 g/MJ que contenían niveles de 0, 10, 20 y 30 g/kg de harina de ajo. Bioensayo 2: A 96 tilapias preadultas se les asignaron los alimentos del primer bioensayo con un diseño experimental similar para evaluar en ambas pruebas parámetros zootécnicos, y de utilización del alimento. Adicionalmente, el segundo bioensayo determinó la composición energética, proteica y lipídica del filete más triglicéridos y colesterol. Los tres niveles de inclusión no tuvieron un efecto significativo en los parámetros zootécnicos y de utilización del alimento respecto al control ( $p > 0.05$ ), y por el contrario si afectaron la composición energética, proteica, lipídica, y contenidos de triglicéridos y colesterol, sobre todo a niveles de inclusión de 20 g/kg ( $p < 0.05$ ). Niveles dietarios de 10, 20 y 30 g/kg de harina de ajo no afectan el desempeño productivo de la tilapia, y si modifican la composición de nutrientes y el perfil bioquímico del filete.

**Palabras clave:** tilapia del Nilo, rendimiento de crecimiento, alimento funcional, parámetros zootécnicos, triglicéridos, colesterol.

### Abstract

The main objective was to evaluate growth performance, biochemical composition, nutrient utilization, and survival of Nile tilapia using different dietary levels of garlic powder in two 30-day bioassays. Bioassay 1: 84



juvenile tilapias were fed on diets with 317 g/kg of protein and a P/E ratio of 16.7 g/MJ containing levels of 0, 10, 20, and 30 g/kg of garlic meal. Bioassay 2: 96 pre-adult tilapias were assigned the diets from the first bioassay with a similar experimental design to evaluate zootechnical parameters and feed utilization in both trials. Additionally, the second bioassay determined the energetic, protein and lipid composition of the fillet plus triglycerides and cholesterol. The three levels of inclusion did not have a significant effect on the zootechnical parameters, and the use of feed compared to the control ( $p > 0.05$ ), and on the contrary, they did affect the energy, protein, and lipid composition, and triglyceride and cholesterol contents, especially at inclusion levels of 20 g/kg ( $p < 0.05$ ). Dietary levels of 10, 20 and 30 g/kg of garlic powder do not affect the productive performance of tilapia, and they do modify the nutrient composition and the biochemical profile of the fillet.

**Keywords:** Nile tilapia, growth performance, functional food, zootechnical parameters, triglycerides, cholesterol.

## INTRODUCCIÓN

El análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) del Sistema Producto tilapia de México en años recientes detecta que las principales debilidades del sector son: i) poca rentabilidad en el eslabón primario de producción; ii) altos costos de producción donde el mayor *ítem* es el alimento comercial [40 a 60 %]; iii) falta de gestión de apoyos oficiales para buscar incrementar los volúmenes de producción y comercialización; y iv) falta de vinculación con el sector de investigación para generar valor agregado en el producto, entre otras. Con base en esta problemática se requieren nuevos proyectos de investigación enfocados en incrementar el uso de ingredientes de alta disponibilidad y funcionalidad comprobada (Puente *et al.*, 2019; Gutiérrez-Leyva *et al.*, 2020; Zavala-Leal & Ortega, 2021).

La tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus* (L., 1758), es una de las principales especies de cultivo a nivel mundial por su alta demanda (Gutiérrez-Leyva *et al.*, 2022) representando en 2019 una producción mundial de 6 millones de t de tilapia producida por acuicultura (El-Sayed & Fitzsimmons, 2023). En México, la CONAPESCA registró en el 2020 una producción total acuícola de mojarra-tilapia de 72,595.06 t (CONAPESCA, 2021), y de acuerdo con el Consejo Empresarial Mexicano de la Tilapia Mexicana, A.C., en 2018 México importó 75,600 t. Una meta relevante para incrementar la tasa de producción actual de tilapia implica el desarrollo de nuevas investigaciones centradas en determinar el beneficio de utilizar diferentes modelos de producción que sean ecoeficientes, y determinar cómo su aplicación influye en los parámetros económicos y productivos (Janssen *et al.*, 2017; Gutiérrez-Leyva *et al.*, 2020).

Los nutrimentos más abundantes del ajo, *Allium sativum* (L., 1753) son las grasas (28.41 %) y los carbohidratos (1.42 %). Los compuestos bioactivos funcionales reportados en el bulbo son: alicinas, cicloalinas, E-ajoeno, Z-ajoeno, disulfuro de dialilo, sulfuro de dialilo, 3-vinil-1,2-ditina, trisulfuro de dialilo, S-alil-cisteína, S-alilmercaptocisteína, ácido cefeico, tetrasulfuro de dialilo, trisulfuro de metilo de alilo, vinilditiinas, y otros que representan el 82% del contenido total de azufre del ajo (El-Saber *et al.*, 2020; Tudú *et al.*, 2022). Los componentes azufrados del ajo actúan como precursores y regeneradores del glutatión



reducido (GSH), como inductores enzimáticos de la síntesis y regeneración de GSH o como antioxidantes *per se* (Öztürk *et al.*, 1994). *A. sativum* tiene propiedades muy variadas como: diaforéticas, expectorantes, antiespasmódicas, antisépticas, antimicrobianas, hipotensivas y antihelmínticas y es un promotor de la leucocitosis. Por lo cual su uso actual se centra en sus acciones antihipertensivas, antiaterogénicas, antitrombóticas, antimicrobianas, fibrinolíticas, preventivas del cáncer e hipolipemiantes entre otras (López-Luengo, 2007).

Se han publicado avances importantes en el uso del ajo en peces a nivel de crecimiento y respuesta por ejemplo en híbridos de tilapia (*O. niloticus* x *O. aureus*) según Fall & Ndong (2007), a nivel de la microbiota y como moderador de la salud contra *Streptococcus iniae* en *O. niloticus* (Foysal *et al.*, 2019), también sobre la actividad antioxidante de *O. niloticus* (Metwally, 2009) y para aumentar la respuesta inmune no específica de *O. niloticus* (Marentek *et al.*, 2013). En la actualidad hay reportes de su uso con efectos positivos en especies como el bagre de rayas (*Pangasianodon hypophthalmus*) revelando que la inclusión de 20 g/kg en el alimento mejora el crecimiento, la utilización del alimento y la calidad de la carne (Patel *et al.*, 2022); también en la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) aumentando en el cuerpo del pez la proporción de proteína con una disminución en su contenido de humedad y lípidos, lo cual influyó en reducir los niveles de ácidos grasos, ácidos grasos monoinsaturados y por el contrario, provocó un aumento en los ácidos grasos poliinsaturados. Por lo cual, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes niveles de inclusión dietarios de harina de ajo comercial en términos de rendimiento de crecimiento, composición bioquímica, utilización de nutrientes, y supervivencia de la tilapia nilótica en dos etapas de desarrollo con el propósito de establecer recomendaciones de su uso.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Preparación de ingredientes y diseño de alimentos

Un lote de 3 kg de harina de ajo marca comercial fue obtenido en México. Para el desarrollo de los alimentos balanceados para tilapia, diferentes ingredientes comerciales fueron obtenidos con distribuidores locales de Nayarit y Jalisco. Los alimentos se formularon tomando como base el requerimiento de *O. niloticus* en proteína de 330 g/kg determinado por Huang *et al.* (2022), y en referencia al requerimiento de proteína/energía de 18 MJ/kg definido por Portz & Liebert (2004) usando el software AFOS™ (Five Horizons LLC, Dover, DE, USA). Se diseñaron 4 alimentos: un control y tres con inclusión de harina de ajo del 10, 20 y 30 g/kg, los cuales se elaboraron según el método descrito por Gutiérrez-Leyva *et al.* (2022) en una planta piloto de alimentos. En primera instancia los macro ingredientes fueron tamizados a 350 µm (pasta soya, harina trigo y harina de sardina), después se combinaron con las premezclas de vitaminas y minerales en una mezcladora de alimentos Kitchen Aid de 4 L (Modelo K5SS, Michigan, USA) por espacio de 10 min, posteriormente se adicionaron los lípidos (aceite de girasol) y se mezclaron



por 5 min más, y por último se adicionó agua a temperatura de 80 °C (aproximadamente el 400 g/kg del peso total de los ingredientes) hasta formar una masa uniforme en textura. La mezcla fue extruida en un molino de carne (Tor Rey, México) de 3/4-HP a través de dado con orificios de 2.2 mm en diámetro. Los pellets obtenidos fueron cortados manualmente con una espátula metálica y posteriormente se secaron en una estufa con flujo de aire a temperatura de 40 °C hasta un valor de humedad de  $10 \pm 2$  %.

### **Organismos y sistema experimental de cultivo**

Se trasladaron un total de 1,000 crías hormonadas de tilapia del Nilo del UNCIBNOR (Tepic, Nayarit, México) y se aclimataron a las condiciones del laboratorio (temperatura de  $28 \pm 0.5$  °C y nivel de oxígeno disuelto de  $6.0 \pm 0.5$  mg/mL) en un tanque de fibra de vidrio con capacidad de 2 m<sup>3</sup>. Los alevines de tilapia se alimentaron diariamente al 10 % de biomasa con un alimento comercial para tilapia que contenía 440 g/kg de proteína cruda y 80 g/kg de lípidos (Nutripec-Purina, México) hasta que alcanzar el tamaño requerido para el primer ensayo de crecimiento con juveniles. El sistema de cultivo para conducir los bioensayos de crecimiento consistió en 12 tanques marca Rotoplast de 1200 L tapados en la parte superior para evitar productividad primaria por no haber fotoperiodo natural en el sistema, los cuales fueron acoplados a un sistema de abasto de agua alimentado con agua dulce de pozo profundo, además equipados con tubos de aireación, calentador sumergible de 200 W, y sistema de drenaje. La temperatura del agua y el oxígeno disuelto se monitorearon diariamente con un detector digital portátil AR modelo 8406 (Smart Sensor Taiwán R.O.C) y un refractómetro portátil, respectivamente. Los nutrientes nitrogenados de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitrógeno amoniacal total (NAT:  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) se determinaron cada semana utilizando un kit comercial de agua dulce API y acto posterior se reemplazó el 95% del volumen del agua de cada tanque (MARS, Chalfont, PA, USA). Todos los peces se pesaron en los días 0, 15 y 30 en las pruebas de crecimiento. Tanto en los procedimientos de traslado de los peces al laboratorio, periodo de aclimatación y realización de los bioensayos se utilizaron los protocolos de bienestar animal recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM-022-PESC-1994, manifestados en el documento interno de bienestar animal clave BA-2023C.

### **Análisis químicos proximales y de energía**

Muestras de las harinas como ingredientes, alimentos y los filetes de las tilapias fueron secados en estufa a 105 °C por 24 h, después finamente molidos y analizados en su composición química proximal de proteína cruda (%Nitrógeno  $\times 6.25$ ), extracto etéreo (lípidos), materia seca, fibra cruda y cenizas, todo esto con los métodos estandarizados descritos por la [A.O.A.C. \(2012\)](#). El extracto libre de nitrógeno se calculó desde la composición proximal con la siguiente ecuación % ELN =  $100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ extracto etéreo} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ humedad} + \% \text{ fibra cruda})$ . La energía bruta se determinó utilizando un calorímetro isoperibólico (IKA, Wilmington, NC, USA).



## Bioensayos de crecimiento y parámetros productivos

Se realizaron dos bioensayos de crecimiento con duración de 30 días en el periodo de invierno correspondiente al 2022-2023 en la localidad de Compostela, Nayarit, México (21.23073 latitud;104.88187 longitud). Para el primer bioensayo de crecimiento se utilizaron 84 juveniles de tilapia nilótica (peso inicial promedio  $15.1 \pm 0.25$  g), los cuales se pesaron y se distribuyeron aleatoriamente en un diseño de cuatro tratamientos por triplicado con una densidad de cultivo de 7 peces/tanque, las cuales fueron alimentadas con una tasa de alimentación a saciedad aparente de 2.079 g/tilapia/día. Para el segundo bioensayo se utilizaron 96 tilapias preadultas (peso inicial promedio  $80 \pm 2.5$  g), con una densidad de cultivo de 8 peces/tanque con una tasa de alimentación a saciedad aparente de 7.54 g/tilapia/día. Al final de ambos experimentos de crecimiento se determinaron los parámetros productivos siguientes de acuerdo con [Gutiérrez-Leyva et al. \(2022\)](#):

- Supervivencia (%) = (número final de peces/número inicial de peces)  $\times$  100
- Biomasa ganada (g) = (PF-PI), donde PF es el peso final del pez (g) y PI es el peso inicial del pez (g)
- Tasa específica de crecimiento (%/día) =  $[(\text{Ln PF} - \text{Ln PI})/\text{días}] \times 100$ , donde Ln es el logaritmo natural
- Ganancia diaria de peso (g/tilapia/día) = biomasa ganada/ número de días experimentales
- Alimento aparentemente consumido =  $[(\text{consumo de alimento (g)})/(\text{número de peces})]/\text{día}$
- Conversión alimenticia =  $[\text{alimento aparentemente consumido (g)}/\text{biomasa ganada (g)}]$
- Proteína ingerida = alimento aparentemente consumido (g/tilapia/día)  $\times$  contenido de proteína del alimento
- Eficiencia proteica = biomasa ganada (g)/proteína ingerida (g).

## Análisis proximales y bioquímicos de la tilapia

Al finalizar el bioensayo 2 se determinó la composición química de proteína y extracto etéreo (lípidos) en muestras de filetes de tilapia por triplicado obtenidos de la región dorsal a 5 cm de la cabeza de tilapias muertas por eutanasia para cada tratamiento experimental, las cuales fueron deshidratadas en estufa eléctrica a una temperatura de 105 °C por 24 h antes de ser analizadas según los criterios de la [A.O.A.C. \(2012\)](#). También se obtuvieron muestras de tejido fresco de tres tilapias por tratamiento en la región dorsal indicada y se llevaron a cabo bioensayos *in vitro* para triglicéridos (glicerol fosfato oxidasa/peroxidasa) con un kit de marca comercial (BioSystems™, Barcelona, España), y de la misma forma para colesterol con kit comercial (colesterol oxidasa/peroxidasa), todo ello de acuerdo a los procedimientos desarrollados por [Galvis-Gómez et al. \(2016\)](#) para la extracción y cuantificación de la fracción mayoritaria de lípidos utilizando una mezcla de hexano e isopropanol en la separación para posteriormente aplicar en las



muestras la cuantificación enzimática. Para la eutanasia de las tilapias se utilizaron los procedimientos descritos por [Afonso et al. \(2001\)](#).

### **Análisis estadístico**

La normalidad y homogeneidad de varianzas de todos los datos se verificó utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente. Los valores promedio para cada tratamiento de los parámetros zootécnicos, biométricos, composición química corporal, perfiles bioquímicos de triglicéridos y colesterol se analizaron mediante ANOVA de una vía, y posteriormente con la prueba de comparación múltiple de Tukey para determinar grupos diferentes con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  en ambos casos ([Sokal & Rohlf, 1995](#)). Los cálculos se procesaron con el paquete STATISTICA™ Versión 6.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

## **RESULTADOS**

La composición de ingredientes, nutrimental y energética de los alimentos experimentales se presentan en la Tabla 1. Las pruebas experimentales se realizaron bajo condiciones de alimentación con tratamientos que fueron no isoproteicos, pero si isoenergéticos, con un contenido promedio de proteína de 317 g/kg y una relación Proteína/Energía (P/E) promedio de 16.7 g/MJ entre los cuatro tratamientos respectivamente (Tabla 1).

Los parámetros de calidad de agua monitoreados durante 30 días experimentales en condiciones de agua clara sin productividad primaria en cada bioensayo se presentan en la Tabla 2. Los valores promedio en la columna de agua de los parámetros temperatura y oxígeno disuelto de ambos bioensayos fueron ligeramente variables (25.2 vs 26.0 y 6.2 vs 5.9 mg/L), y los valores de pH, nitrógeno amoniacal total, nitritos y nitratos siguieron la misma tendencia entre tratamientos y entre bioensayos, reflejando un efecto de la calidad del alimento y de las condiciones experimentales utilizadas en el periodo de invierno indicado en la Tabla 2.

Los parámetros productivos del primer bioensayo de crecimiento con organismos juveniles y una duración de 30 días se presentan en la Tabla 3. La comparación del tratamiento control respecto a los alimentos con 10, 20 y 30 g/kg de harina de ajo no presentaron un efecto significativo en el ANOVA ( $p > 0.05$ ) en los parámetros de Supervivencia (S), Peso Inicial (PI), Peso Final (PF) Biomasa Ganada (BG), Tasa Específica de Crecimiento (TEC), Ganancia Diaria de Peso (GDP), Conversión Alimenticia (CA) y Eficiencia Proteica (EP).



**Tabla 1. Nivel de inclusión de ingredientes, composición nutrimental y energética de los alimentos utilizados en los bioensayos de crecimiento con *O. niloticus***

Ingredientes (g/kg alimento)	Control	HA10	HA20	HA30
Harina de ajo <sup>1</sup>	----	10.0	20.0	30.0
Harina de trigo <sup>2</sup>	408.21	441.15	432.07	422.98
Pasta de soya <sup>3</sup>	200.00	200.00	200.00	200.00
Harina de sardina <sup>4</sup>	272.39	227.70	226.62	225.54
Vitaminas y minerales <sup>5</sup>	25.00	25.00	25.00	25.00
Aceite de girasol <sup>6</sup>	54.40	56.14	56.31	56.48
Grenetina (ligante) <sup>7</sup>	40.00	40.00	40.00	40.00
Composición proximal (g/kg) y energética en base seca (n=3, ± desviación estándar).				
Materia seca	887.0±1.1	897.8±0.8	888.6±2.1	899.4±0.4
Proteína cruda	327±3.0	310±4.0	304±5.0	306±2.0
Extracto etéreo	89±1	88±0	81±0	85±1
Fibra cruda	36±6	27±2	32±1	44±1
Cenizas	71.8±1.4	62.0±3.3	66.8±1.2	64.1±3.1
Energía bruta (MJ/kg)	18.9±0.04	18.9±0.08	18.6±0.00	18.5±0.05
Extracto libre de nitrógeno <sup>§</sup>	424	387	384	399
Relación P/E (g/MJ) <sup>§</sup>	17.3	16.4	16.4	16.6

Códigos de los alimentos en función del nivel de inclusión del ingrediente: HA10, HA20 y HA30 (10, 20 y 30 g/kg de harina de ajo).

<sup>1</sup>Bulbos deshidratados y pulverizados. Encapsuladoras de México, S.A. de C.V. Lote AS7322.

<sup>2</sup>Harina extrafina Guadalupe. Harinas Guadalupe, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>3</sup>Forrajes Barajas, S.A. de C.V. Tepic, Nayarit, México.

<sup>4</sup>Proteínas Marinas y Agropecuarias, S.A. de C.V. Zapopan, Jalisco, México.

<sup>5</sup>Premezcla vitamínico y mineral fortificada Farmix C-3060® constituida por: aceite mineral, vitamina A-acetato, vitamina D3, vitamina E-acetato, vitamina K3, vitamina B1, vitamina B2, vitamina B6, vitamina B12, biotina, ácido fólico, niacina, D-pantotenato de calcio, cloruro de colina, fosfato monodivalente, carbonato de calcio, sal, cobre, hierro, E.D.D.I. (fuente de yodo), manganeso, selenio, zinc, L-Lisina HCl, DL-Metionina, L-Treonina, L-Triptófano, suplementos enzimáticos (fitasa, xilanasas), antioxidante (ETQ). Trouw Nutrition, México, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>6</sup>Aceite Cristal con antioxidante TBHQ no mayor a 0.02%. Aceites Grasas y Derivados S.A. de C.V. Zapopan, Jalisco, México.

<sup>7</sup>Marca D'Gari®, S.A. de C.V. Querétaro, Querétaro, México.

<sup>§</sup>Valores de cálculo unitarios.



**Tabla 2. Parámetros de calidad del agua del sistema de cultivo (n=3, ± desviación estándar)**

Bioensayo con peces juveniles realizado en invierno (2022-2023)					
	CONTROL	HA10	HA20	HA30	Promedio
Temperatura (°C)	25.1±0.4	25.8±0.6	24.9±0.2	25.0±1.4	25.2
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.2±0.3	6.2±0.3	6.3±0.1	6.1±0.2	6.2
pH	7.7±0.5	7.4±0.0	7.7±0.3	7.7±0.5	7.6
NAT (mg/L)	1.0±0.0	7.7±11.5	0.8±0.3	1.0±0.0	2.6
Nitritos (mg/L)	3.7±2.3	1.3±0.6	1.0±0.0	2.3±2.3	2.1
Nitratos (mg/L)	10.0±0.0	20.0±17.3	13.3±5.8	10.0±0.0	13.3
Bioensayo con peces preadultos realizado en invierno (2022-2023)					
	CONTROL	HA10	HA20	HA30	Promedio
Temperatura (°C)	25.7±0.3	26.5±0.3	25.7±0.2	26.1±0.9	26.0
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.1±0.5	6.0±0.4	5.8±0.4	5.6±0.4	5.9
pH	7.5±0.2	7.4±0.0	7.6±0.2	7.5±0.2	7.5
NAT (mg/L)	0.9±0.2	0.8±0.2	0.6±0.1	0.9±0.2	0.8
Nitritos (mg/L)	3.5±1.4	1.5±1.0	2.2±0.0	2.4±1.6	2.4
Nitratos (mg/L)	15.0±8.7	25.0±15.0	23.3±2.9	21.7±10.4	21.3

**Tabla 3. Parámetros zootécnicos productivos y utilización de alimento en tilapias juveniles evaluadas durante 30 días (n=3, ± desviación estándar)**

	CONTROL	HA10	HA20	HA30	Promedio
S (%)	100±0.0	100±0.0	100±0.0	100±0.0	100
PI (g)	12.0±0.9	12.4±1.6	12.7±1.2	11.6±1.8	12.2
PF (g)	37.3±3.4	37.6±5.3	38.2±8.4	33.0±1.5	36.5
BG (g)	25.3±3.0	25.2±4.7	25.5±7.2	21.4±0.8	24.4
TEC (%/día)	3.8±0.3	3.7±0.4	3.6±0.4	3.5±0.4	3.7
GDP (g/tilapia/día)	0.84±0.10	0.84±0.16	0.85±0.24	0.71±0.03	0.8
CA	2.5±0.3	2.5±0.5	2.6±0.7	2.9±0.1	2.6
EP	1.16±0.14	1.15±0.21	1.17±0.33	0.98±0.04	1.1

Los parámetros productivos del primer bioensayo de crecimiento con animales preadultos y una duración de 30 días se presentan en la Tabla 4. La comparación del tratamiento control respecto a los alimentos con 10, 20 y 30 g/kg de harina de ajo no presentaron un efecto significativo en el ANOVA ( $p > 0.05$ ) en los parámetros de S, PI, PF, BG, TEC, GDP, CA y EP.



**Tabla 4. Parámetros zootécnicos productivos, utilización de alimento y condición corporal en tilapias preadultas evaluadas por 30 días (n=3, ± desviación estándar)**

	CONTROL	HA10	HA20	HA30	Promedio
S (%)	100±0.0	100±0.0	100±0.0	100±0.0	100
PI (g)	90.2±1.9	91.4±2.3	89.9±3.1	90.9±0.8	90.6
PF (g)	182.9±7.9	186.6±26.0	175.7±13.3	178.3±13.2	180.9
BG (g)	92.7±6.7	95.1±23.8	85.8±11.1	87.4±12.5	90.3
TEC (%/día)	3.1±0.2	3.2±0.8	2.9±0.4	2.9±0.4	3.0
GDP (g/tilapia/día)	2.4±0.1	2.4±0.4	2.2±0.2	2.2±0.2	2.3
CA	2.4±0.2	2.5±0.5	2.7±0.4	2.6±0.4	2.6
EP	1.2±0.1	1.2±0.3	1.1±0.1	1.1±0.2	1.2

La composición química de proteína y extracto etéreo (lípidos) del cuerpo completo de la tilapia expresados en base seca excepto humedad después de 30 días de alimentación se presentan en la Tabla 5. El perfil corporal bioquímico de triglicéridos y colesterol total también se describen en la Tabla 5. El contenido de humedad fue significativamente diferente entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ), con una tendencia a que niveles de inclusión de 20 y 30 g/kg en el alimento tienden a disminuir la retención de agua en el filete de tilapia. El nivel de inclusión de 20 g/kg en el alimento presentó un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la deposición de proteína, también de igual forma modificó significativamente los contenidos de lípidos, energía, triglicéridos y colesterol total respecto al tratamiento control ( $p < 0.05$ ). Niveles de inclusión de 20 g/kg y 30 g/kg en el alimento respecto al valor del tratamiento control tuvieron una respuesta similar en su contenido de proteína ( $p > 0.05$ ), superior en el contenido de lípidos ( $p < 0.05$ ), y a su vez una tendencia irregular en sus contenidos de energía, triglicéridos y colesterol respecto al nivel de inclusión de la harina de ajo, es decir, conforme se incrementó el nivel de inclusión no se incrementó proporcionalmente la variable de respuesta.

**Tabla 5. Composición química corporal y contenido bioquímico del filete de tilapias preadultas evaluadas por 30 días (n=3, ± desviación estándar)**

	CONTROL	HA10	HA20	HA30	Promedio
Humedad (%)	24.45±0.39 <sup>a</sup>	21.65±0.16 <sup>bc</sup>	20.78±0.64 <sup>c</sup>	22.03±0.13 <sup>b</sup>	22.2
Proteína cruda (%) <sup>&amp;</sup>	90.80±0.30 <sup>a</sup>	90.20±0.60 <sup>ab</sup>	88.90±0.80 <sup>b</sup>	90.30±0.80 <sup>ab</sup>	90.1
Extracto etéreo (%) <sup>&amp;</sup>	4.31±0.06 <sup>d</sup>	4.87±0.19 <sup>c</sup>	7.29±0.12 <sup>a</sup>	5.94±0.05 <sup>b</sup>	5.6
Energía bruta (KJ/g) <sup>&amp;</sup>	22.33±0.04 <sup>c</sup>	22.47±0.03 <sup>b</sup>	22.63±0.01 <sup>a</sup>	22.37±0.01 <sup>c</sup>	22.4
Triglicéridos (mg/dL) <sup>#</sup>	76.80±12.70 <sup>a</sup>	49.90±8.20 <sup>b</sup>	21.00±5.60 <sup>c</sup>	76.80±12.70 <sup>a</sup>	56.1
Colesterol (mg/dL) <sup>#</sup>	57.20±6.40 <sup>b</sup>	80.1±4.90 <sup>a</sup>	38.20±5.40 <sup>c</sup>	57.20±6.40 <sup>b</sup>	58.2

<sup>&</sup>Valores expresados en base seca. <sup>#</sup>Valores expresados sobre tejidos procesados en base húmeda.

<sup>a,b,c,d</sup>Medias con diferentes superíndices dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).



## DISCUSIÓN

Los parámetros de calidad del agua y de supervivencia reportados para las etapas de crecimiento de juveniles y preadultos de *O. niloticus* está dentro de los reportado por [Gutiérrez-Leyva et al. \(2022\)](#) en bioensayos controlados en condiciones de laboratorio similares con la misma especie y en la misma localidad geográfica. Por su parte [Leonard & Skov \(2022\)](#), indican que la tilapia puede sobrevivir en un rango de temperatura de 13 a 39 °C, sin embargo, indican que para mantener una demanda aeróbica absoluta del pez estimada en 190 mg O<sub>2</sub>/kg/hora se requieren una temperatura del agua de 25 °C, lo cual explican a su vez permite mantener una tasa estándar metabólica de difusión de oxígeno para *O. niloticus* de  $24.423e^{0.0582T}$ , en referencia a este hallazgo se propone que los dos bioensayos de crecimiento de esta investigación fueron adecuados en términos de las temperaturas del agua registradas (25-26 °C) para mantener una tasa de crecimiento constante durante las dos etapas de crecimiento evaluadas en periodos productivos de 30 días.

Potencialmente el uso de niveles de inclusión dietarios de extractos de ajo del 10, 20 y 30 mL/kg están reportados en el trabajo de [Mohammady et al. \(2022\)](#), con efectos positivos y significativos ( $p < 0.05$ ) en los parámetros zootécnicos de peso ganado, tasa específica de crecimiento, supervivencia, índices hematológicos, actividad enzimática digestiva y antioxidante, expresiones génicas de crecimiento, inmunoglobulinas y la actividad superóxido dismutasa. Por su parte la investigación de [Jegade \(2012\)](#), demostró al evaluar niveles de inclusión de ajo en polvo en la dieta de 5, 10, 15 y 20 g/kg en juveniles de mojarra *Tilapia zillii*, que los mejores resultados se presentan en el nivel de 20 g/kg sobre tasa de crecimiento, eficiencia y digestibilidad proteica ( $p < 0.05$ ). En otra investigación realizada por [Shalaby et al. \(2006\)](#), al utilizar niveles alimentos balanceados con 320 g/kg de proteína con niveles de inclusión de ajo en polvo de 10, 20, 30, y 40 g/kg en juveniles de *O. niloticus* (peso inicial promedio de 7 g) obtuvieron ganancias significativas ( $p < 0.05$ ) en la tasa específica de crecimiento en todos los tratamientos con ajo respecto al control (sin ajo) después de 90 días (1.13, 1.14, 1.23 y 1.18 %/día vs 1.05 %/día, respectivamente). En la literatura se atribuyen estos beneficios a un efecto dinámico y sinérgico de los componentes bioactivos del ajo como aliina, alicina, ajoeno, S-alil-cisteína, S-trilit-L-cisteína, sulfuro de dialilo y S-alilmercaptocisteína ([Ozma et al., 2022](#)); sin embargo, en esta investigación no se presentaron diferencias significativas en términos de crecimiento y utilización de alimento, una potencial explicación puede deberse a que los diferentes niveles de inclusión 10, 20 y 30 g/kg no mejoraron la eficiencia de utilización proteica, lipídica y energética del alimento, al respecto la investigación de [Samson \(2019\)](#), obtuvo resultados similares en la tasa de crecimiento que esta investigación en los niveles de 10 y 20 g/kg al utilizar polvo de ajo en la tilapia roja (*Oreochromis spp.*), explicando que niveles elevados afectan la palatabilidad del alimento debido esto a una cantidad excesiva de sulfuro de alquilo que ingresa al



intestino, lo cual interfiere con el metabolismo y por ende con el crecimiento. En este sentido, los niveles de seguridad del uso de la harina comercial de ajo estarían en niveles máximos probables de 5 y 10 g/kg de alimento, en la literatura las investigaciones en *O. niloticus* anteriormente citadas de [Samson \(2019\)](#) y [Shalaby et al. \(2006\)](#) respaldan esta propuesta respecto al uso del polvo de ajo en los valores anteriormente mencionados. La tasa de alimentación suministrada en este trabajo fue equitativa para todos los tratamientos en ambos bioensayos (2.079-7.54 g/tilapia/día, bioensayos 1 y 2 respectivamente), y no tuvo un efecto significativo ( $p > 0.05$ ) sobre los parámetros zootécnicos de S, BG, TEC, GDP, CA y EP en ambos casos de estudio. Con relación a este hecho [Gutiérrez-Leyva et al. \(2022\)](#), mencionan que cuando los factores antinutrientales del alimento están en contenido bajo o ausente, los alimentos permiten una adecuada tasa de crecimiento y supervivencias del 100%, por lo tanto, este trabajo propone futuras investigaciones para evaluar los principios activos de la harina comercial utilizada, y validar si los valores obtenidos promedio en tasa de crecimiento (3.7 vs 2.3 %/día), conversión alimenticia (2.6), eficiencia proteica (1.2 vs 1.2) de los bioensayos 1 y 2 respectivamente, pudieran presentar alguna correlación respecto al nivel de los principios activos presentes en harinas de ajo de tipo comercial. [Gutiérrez-Leyva et al. \(2022\)](#) definen que conversiones del alimento a biomasa corporal cercanos a 1, y niveles de eficiencia proteica en valores de 2 a 3 son deseables en el cultivo de juveniles de tilapia, por lo tanto, se sugiere que otras investigaciones puedan enfocarse en manejar un sistema de alimentación restringido con un nivel de alimento suministrado a los peces de 3.61 g/tilapia/día, lo cual podría mantener una ingesta diaria de proteína alrededor de 1.44 g/tilapia/día para la etapa desde juvenil a preadulto (10-150 g), todo ello para validar la utilización del alimento por parte de la tilapia en referencia a lo presentado por [Gutiérrez-Leyva et al. \(2020\)](#) en las condiciones mencionadas por estos autores.

Los resultados encontrados para los niveles de inclusión de 10, 20 y 30 g/kg de harina de ajo en el alimento de la Tabla 5 sugieren que la composición proximal y bioquímica del filete de tilapia es significativamente afectada respecto al tratamiento sin harina de ajo ( $p < 0.05$ ). Estas diferencias están documentadas en la investigación conducida con alimentos a base de ajo en *O. niloticus* por [Metwally \(2009\)](#), en los perfiles de triglicéridos y colesterol, ya que reportan valores que disminuyen significativamente ( $p < 0.05$ ) de 74.55 % a 59.33 %, y de 74.55 % a 56.33 % al utilizar polvo y aceite de ajo respectivamente en referencia al control. Algunos autores como [Amarakoon & Jayasekara \(2017\)](#) y [Shang et al. \(2019\)](#), definen al ajo como un alimento funcional con propiedades hipolipemiantes e hipocolesterolémicas. Por su parte [Shalaby et al. \(2006\)](#), reportaron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en reducir el contenido de lípidos corporal en *O. niloticus* al comparar el tratamiento con 30 g/kg de ajo en polvo con el control (18.35 % vs 22.76 %, respectivamente) lo cual concuerda con esta investigación, y por el contrario el resultado de los valores de proteína de este trabajo son opuestos a los valores en el contenido de proteína reportados por [Abdel-Hakim et al. \(2010\)](#), quienes reportan



un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en el contenido de proteína al utilizar niveles de inclusión de ajo deshidratado de 30 g/kg (64.47 % vs 61.03 %, respectivamente) en la misma especie respecto al control. Este aspecto es relevante de considerar ya que en lo general el valor de proteína encontrado en el filete de tilapia deshidratado encontrado en la tilapia preadulto es superior a los valores reportados de 61-64 % por [Metwally \(2009\)](#) y también a los datos de 59-61 % reportados por [Shalaby et al. \(2006\)](#); en ambos casos respecto a los tejidos corporales de *O. niloticus*, postulando entonces a manera de sugerencia que es factible recomendar otras investigaciones para dilucidar si la harina de ajo tiene efectos sobre las características organolépticas del filete de tilapia, y verificar si esto se potencialmente pudiera correlacionarse respecto al valor proteico del filete. El valor de humedad del filete de tilapia no ha sido estudiado en profundidad, reportándose en la literatura valores solo a nivel del cuerpo completo del pez en los trabajos de [Abdel-Moniem et al. \(2019\)](#) y de [Mahmoud & El-Hais \(2017\)](#), este efecto de retención de agua por efecto del uso de aceite de ajo ha sido demostrado en el cuye (*Cavia porcellus*) por [Ortiz-Davila \(2018\)](#) en un valor de 21.83 %, el cual es aproximado respecto a los valores mínimos y máximos de esta investigación (20.8 al 22%) en los peces alimentados con los tratamientos con ajo a 10, 20 y 30 g/kg, sin embargo se requieren nuevas precisiones al respecto.

## CONCLUSIONES

La inclusión de 10, 20 y 30 g/kg de harina de ajo en alimento para tilapia no tiene efectos significativos sobre el crecimiento y la utilización del alimento, y por el contrario si modifica significativamente el contenido de proteína, lípidos, energía, triglicéridos y colesterol del filete de la tilapia sobre todo a niveles de 20 g/kg, lo cual define la calidad funcional del ajo como agente hipocolesterolémico e hipolipemiante.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Nayarit por el financiamiento otorgado al proyecto SIP/PU22/04/01/2022. Se agradece la participación técnica de Javier Armendáris Godínez y Oscar Pérez Dueñas en la realización de pruebas analíticas. También a los estudiantes de Medicina Veterinaria y Zootecnia Felipe A. Cázares Romero, Daniela E. Cruz Ruiz y Berenice Peña Rojas por su asistencia en los bioensayos.

## LITERATURA CITADA

AOAC (Association of Official Analytical Chemist) 2012. In: Official methods of analysis of AOAC International. 2 Vols. 19th Edn., AOAC, Inc. Arlington, VA, USA. Association of Analytical Communities. ISBN: 9780935584837.



ABDEL-HAKIM, N, Lashin M, Ashry A, Al-Azab AD. 2010. Effect of fresh or dried garlic as a natural feed supplement on growth performance and nutrients utilization of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticas*). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 14(2):19-38. ISSN: 1110-1131. <https://doi.org/10.21608/EJABF.2010.2058>

ABDEL-MONIEM MY, Elbattal A, Elgelany SS, Attia S. 2019. Incorporation of garlic meal (*Allium sativum*) as natural additive to enhance performance, immunity, gonad and larval survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock. *African Journal of Biological Science*. 15(1):117-135. ISSN: 1687-4870.  
[https://ajbs.journals.ekb.eg/article\\_64005.html](https://ajbs.journals.ekb.eg/article_64005.html)

AFONSO LOB, Wassermann GJ, Terezinha de Oliveira R. 2001. Sex reversal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using a nonsteroidal aromatase inhibitor. *Journal of Experimental Zoology*. 290(2):177-181. ISSN: 2471-5646.  
<https://doi.org/10.1002/jez.1047>

AMARAKOON S, Jayasekara D. 2017. A review on garlic (*Allium sativum* L.) as a functional food. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 6(6):1777-1780. ISSN: 2278-4136. ISSN: 2278-4136. <https://www.phytojournal.com/archives/2017.v6.i6.2294/a-review-on-garlic-allium-sativum-l-as-a-functional-food>

CONAPESCA (COMISIÓN NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA) 2021. Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura del 2021.  
<https://www.gob.mx/conapescas/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>

EL-SABER BG, Magdy BA, G. Wasef L, Elewa YHA, A. Al-Sagan A, Abd El-Hack ME, Taha AE, M. Abd-Elhakim Y, Prasad Devkota H. 2020. Chemical constituents and pharmacological activities of garlic (*Allium sativum* L.): A review. *Nutrients*. 12(3):872. ISSN: 2072-6643. <https://doi.org/10.3390/nu12030872>

EL-SAYED AFM, Fitzsimmons K. 2023. From Africa to the world—The journey of Nile tilapia. *Reviews in Aquaculture*. 15:6-21. ISSN:1753-5131.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12738>

FALL J, Ndong D. 2007. The effect of garlic (*Allium sativum*) on growth and immune responses of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*). *AquaDocs.org*. Pp. 1-23. <https://aquadocs.org/handle/1834/1478>



FOYSAL MJ, Alam M, Momtaz F, Chaklader MR, Siddik MA, Cole A, Foteder R, Rahman M.M. 2019. Dietary supplementation of garlic (*Allium sativum*) modulates gut microbiota and health status of tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae* infection. *Aquaculture Research*. 50(8): 2107-2116. ISSN:1365-2109. <https://doi.org/10.1111/are.14088>

GALVIS-GÓEZ RD, Ramírez Vásquez NF, Giraldo Mejía Á. 2016. Extracción, cuantificación y distribución de las principales fracciones lipídicas en pequeñas biopsias de hígado de vacas en el periodo de transición. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 11(1):26-38. ISSN: 1900-9607.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-96072016000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-96072016000100003&script=sci_arttext)

GUTIÉRREZ-LEYVA R, Ulloa JA, Ramírez-Ramírez JC, Bautista-Rosales PU, Rosas-Ulloa, P, Silva-Carrillo Y, Ramírez-Acevedo EA, Camarena-Herrera ME. 2020. Evaluation of the intensive production of juvenile tilapia under greenhouse conditions: Profitability analysis and aspects of its applicability. *Revista Bio Ciencias*. 7:1-23. ISSN 2007-3380.  
<https://doi.org/10.15741/revbio.07.e584>

GUTIÉRREZ-LEYVA R, Rodríguez-González H, Carrillo-Domínguez S, Ulloa JA, Ramírez-Ramírez JC, Rosas-Ulloa P, Bautista-Rosales PU, Civera-Cerecedo R. 2022. Canary seed, *Phalaris canariensis*, has higher nutritional value than giant kelp seaweed, *Macrocystis pyrifera*, as feed ingredient in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 54(3):666-685. ISSN:1749-7345.  
<https://doi.org/10.1111/jwas.12937>

HUANG D, Liang H, Ren M, Ge X, Zhang Q, Gu J. 2022. The optimum dietary protein requirement of the genetically improved farmed tilapia (GIFT: *Oreochromis niloticus*): Effects on growth performance and protein metabolism via GH-IGF axis and TOR signalling pathway at different seasonal growth stages. *Aquaculture Research*. 53(15):5413-5427. ISSN:1365-2109. <https://doi.org/10.1111/are.16024>

JANSSEN K, Berentsen P, Besson M, Komen H. 2017. Derivation of economic values for production traits in aquaculture species. *Genetics Selection Evolution*. 49:1-13. ISSN: 1297-9686. <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0278-x>

JEGEDE T. 2012. Effect of Garlic (*Allium sativum*) on Growth, Nutrient Utilization, Resistance and Survival of *Tilapia zillii* (Gervais 1852) Fingerlings. *Journal of Agricultural Science*. 4(2): 269-274. ISSN: 1916-9760. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n2p269>



LEONARD JN, Skov PV. 2022. Capacity for thermal adaptation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on oxygen uptake and ventilation. *Journal of Thermal Biology*. 105:1-7. ISSN: 1879-0992. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103206>

LÓPEZ-LUENGO MTL. 2007. El ajo: Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas. *Offarm: Farmacia y Sociedad*. 26(1):78-81. ISSN: 0212-047X. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5324419>

MAHMOUD HK, El-Hais A. 2017. Effect of dietary garlic (*Allium sativum*) supplementation on Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles performance under two stocking densities. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*. 20(1):115-124. ISSN: 1110-6360. <https://doi.org/10.21608/EJNF.2017.75140>

MARENTEK G, Manoppo H, Longdong SN. 2013. Evaluation of The Use of Garlic (*Allium sativum*) in Enhancing Nonspecific Immune Response and Growth of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *e-Journal BUDIDAYA PERAIRAN*. 1(1):1-7. ISSN: 2684-7396. <https://doi.org/10.35800/bdp.1.1.2013.719>

METWALLY MAA. 2009. Effects of Garlic (*Allium sativum*) on Some Antioxidant Activities in Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*). *World Journal of Fish and Marine Sciences*. 1(1):56-64. ISSN 1992- 0083. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ab6ee0bb28336cb67f38373a5a3720d3f8a6d9bd>

MOHAMMADY EY, Soaudy MR, Mohamed AE, EL-Erian MMA, Farag A, Badr AM, Bassuony NI, Ragaza JA, El-Haroun ER, Hassaan MS. 2022. Can dietary phytogetic mixture improve performance for growth, digestive enzyme activity, blood parameters, and antioxidant and related gene expressions of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*? *Animal Feed Science and Technology*. 290:115369. ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115369>

ORTIZ-DAVILA YD. 2018. Efecto de la concentración de aceite esencial de ajo (*Allium sativum*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de carcasas de cuy (*Cavia porcellus*) frescas empacadas al vacío”. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú. Tesis de Ingeniera Agroindustrial y Comercio Exterior. Pp. 10. Repositorio Institucional-UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/32628>



OZMA MA, Abbasi A, Ahangarzadeh Rezaee M, Hosseini H, Hosseinzadeh N, Sabahi S, Ali Noori S, Sepordeh S, Khodadadi E, Lahouty, M, Kafil HS. 2022. A Critical Review on the Nutritional and Medicinal Profiles of Garlic's (*Allium sativum* L.) Bioactive Compounds. *Food Reviews International*. 1-38. ISSN: 8755-9129.

<https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2100417>

ÖZTÜRK Y, Aydın S, Koşar M, Başer KHC. 1994. Endothelium-dependent and independent effects of garlic on rat aorta. *Journal of Ethnopharmacology*. 44(2):109-116. ISSN: 1872-7573. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(94\)90076-0](https://doi.org/10.1016/0378-8741(94)90076-0)

PATEL P, Borichangar R, Vanza J. 2022. Effect of garlic (*Allium sativum*) supplementation on growth, survival and body composition of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878). *The Pharma Innovation Journal*. SP-11(4):642-652. ISSN: 2277- 7695.

<https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue4S/PartI/S-11-4-23-162.pdf>

PORTZ L, Liebert F. 2004. Growth, nutrient utilization and parameters of mineral metabolism in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed plant-based diets with graded levels of microbial phytase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 8899(9-10):311-320. ISSN:1439-0396. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2004.00486.x>

PUENTE IS, Ovalles L, Ortega GP. 2019. Tilapia de cultivo: análisis de competitividad para la toma de decisiones de comercialización. *RILCO: Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*. 1(4):1-19. ISSN: 2659-5494. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7754380>

SAMSON JS. 2019. Effect of garlic (*Allium sativum*) supplemented diets on growth, feed utilization and survival of red tilapia (*Oreochromis* sp.). *International Journal of Agricultural Technology*. 15(4):637-644. ISSN: 2630-0192.

[https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Effect+of+garlic+%28Allium+sativum%29+supplemented+diets+on+growth%2C+feed+utilization+and+survival+of+red+tilapia+%28Oreochromis+sp.%29.+International+Journal+of+Agricultural+Technology.&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Effect+of+garlic+%28Allium+sativum%29+supplemented+diets+on+growth%2C+feed+utilization+and+survival+of+red+tilapia+%28Oreochromis+sp.%29.+International+Journal+of+Agricultural+Technology.&btnG=)



SHALABY AM, Khattab YA, Abdel Rahman AM. 2006. Effects of Garlic (*Allium sativum*) and chloramphenicol on growth performance, physiological parameters and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*. 12:172-201. ISSN: 1678-9199. <https://doi.org/10.1590/S1678-91992006000200003>

SHANG A, Cao SY, Xu XY, Gan RY, Tang GY, Corke H, Mavumengwana V, Li HB. 2019. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.). *Foods*. 8(7):246. ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods8070246>

SOKAL RR, Rohlf FJ. 1995. *Biometry: The Principles and Practices of Statistics in Biological Research*. (W.H. Freeman), 3rd. Edn. New York, USA. Pp. 880. ISBN: 978-0716724117.

TUDU CK, Dutta T, Ghorai M, Biswas P, Samanta D, Oleksak P, Jha NK, Kumar M, Radha, Procków J, Pérez de la Lastra JM, Dey A. 2022. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology of garlic (*Allium sativum*), a storehouse of diverse phytochemicals: A review of research from the last decade focusing on health and nutritional implications. *Frontiers in Nutrition*. 9:1-19. ISSN: 2296-861X. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.929554>

ZAVALA-LEAL OI, Ortega JRF. 2021. Tilapias: de la introducción a la producción, desarrollo económico de su cultivo en México. *Acta Pesquera*. 7(14):58-64. ISSN: 2395-8944. <http://cimateuan.education/revistav2/index.php/AP/article/view/97/96>

Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-16. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.11>  
Artículo Original. Recibido: 05/10/2023. Aceptado:21/06/2024. Publicado: 19/07/2024. Clave: e2023-39.  
<https://www.youtube.com/watch?v=98Qe2qMJVOQ>

## Crecimiento y sobrevivencia de *Chirostoma jordani* en el Sitio Ramsar 1986-Atlangatepec, Tlaxcala, México

Growth and survival of *Chirostoma jordani* at Ramsar Site 1986-Atlangatepec, Tlaxcala, Mexico



Suárez-Sánchez Juan\*<sup>1</sup>  ID, Tetlacuilo-Barrios Lizbeth<sup>2</sup>  ID, Torrejón-González Alfonso<sup>2</sup>  ID, Muñoz-Nava Hipólito<sup>1</sup>  ID, García-de-Jesús Sandra<sup>1</sup>  ID, Barrientos-Rivera Guillermina\*\*<sup>1</sup>  ID

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Agrobiología, Maestría en Ciencias en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Agrobiología, Licenciatura en Biología. México. \*Autor responsable: Suárez-Sánchez Juan. \*\*Autor de correspondencia: Barrientos-Rivera Guillermina. km 10.5, autopista Texmelucan-Tlaxcala, municipio Ixtacuixtla, Tlaxcala, México, CP. 90120. 7335825192. E-mail: [juan.suarez.s@uatx.mx](mailto:juan.suarez.s@uatx.mx), [liztetlacuilo24@gmail.com](mailto:liztetlacuilo24@gmail.com), [20190973@uatx.mx](mailto:20190973@uatx.mx), [hipolito78@hotmail.com](mailto:hipolito78@hotmail.com), [sandra.garcia.dej@uatx.mx](mailto:sandra.garcia.dej@uatx.mx), [guimagic.16@gmail.com](mailto:guimagic.16@gmail.com)

### RESUMEN

*Chirostoma jordani*, comúnmente conocido como charal, es una especie de importancia ictiológica, económica y cultural en la presa Atlangatepec y juega un papel fundamental en el sitio Ramsar 1986. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la dinámica de la población del *C. jordani* en el sitio Ramsar 1986-Atlangatepec, mediante el uso de modelos matemáticos, calidad del agua y análisis biométrico de la población. Se confirmó la taxonomía de la especie a través de un análisis morfométrico. Se midieron los parámetros más críticos para la sobrevivencia del charal, a saber, temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, sólidos totales, conductividad eléctrica y demanda química de oxígeno. Utilizando mediciones como peso y longitud, se determinó un análisis biométrico. Como resultado se obtuvo un índice que muestra una calidad aceptable del agua en la presa. En cuanto a la relación peso-longitud ha sido un análisis de utilidad en la pesquería, lo que deja en claro que la actividad pesquera en la presa se está realizando a través de un aprovechamiento óptimo; por tanto, son estrategias que mejorarán el manejo de la presa para incrementar el crecimiento, reproducción y supervivencia de este pez y a su vez del progreso socioeconómico de la región.

**Palabras clave:** conservación, presa Atlangatepec, Atherinidae, pesquería, importancia alimenticia.

### ABSTRACT

*Chirostoma jordani*, commonly known as charal, is a species of ichthyological, economic and cultural importance in the Atlangatepec dam and plays a key role in the 1986 Ramsar site. This research aims to assess the population dynamics of *C. jordani* at the Ramsar site 1986-Atlangatepec, using mathematical modelling, water quality and biometric analysis of the population. The taxonomy of the species was confirmed through morphometric analysis. The most critical parameters for charal survival were measured, namely temperature, pH, dissolved oxygen, total dissolved solids, total solids, electrical conductivity and chemical oxygen demand. Using measurements such as weight and length, a biometric analysis was determined. As a result, an index showing acceptable water quality in the dam was obtained. As for the



weight-length ratio, it has been a useful analysis in the fishery, which makes it clear that the fishing activity in the dam is being carried out through optimal use; therefore, these are strategies that will improve the management of the dam to increase the growth, reproduction and survival of this fish and in turn the socio-economic progress of the region.

**Keywords:** conservation, Atlangatepec dam, Atherinidae, fishery, food importance.

## INTRODUCCIÓN

En el 2008, se designa importancia internacional Ramsar a la presa Atlangatepec, considerado como un humedal que alberga una gran diversidad biológica, lo que ha sido una motivación importante en el ejercicio de la conservación del cuerpo acuático y principalmente para la población en torno a éste. Se asocian al humedal aproximadamente 125 especies de aves acuáticas, entre migratorias (66.15%) y residentes (33.85%) ([Sánchez-Santillán et al., 2004](#)), un ejemplo, es el águila cabeza blanca (*Haliaeetus leucocephalus*) registrada en la presa en 2016 ([Windfield & Fernández et al., 2019](#)); además de ser el hábitat de una especie de ajolote (*Ambystoma tigrinum*) que se encuentra bajo categoría “prioritaria” en la NOM-059-SEMARNAT-2010 ([SEMARNAT, 2018](#)). Incluidas varias especies en categoría amenazada, *Anas platyrhynchos* (pato real), *Botaurus lentiginosus* (garza norteña de tular), *Pelecanus erythrorhynchos* (pelicano californiano); en protección especial, *Dendrortyx barbatus* (codorniz coluda), *Accipiter cooperii* (gavilán de Cooper), entre otros ([Lara et al., 2015](#); [Windfield & Fernández, 2019](#)).

Otro elemento a considerar es que al ser la presa el cuerpo de agua más grande e importante en el estado de Tlaxcala se desarrolla en esta, actividad acuícola y pesquera de especies como carpa (*Cyprinus carpio*) y charal (*Chirostoma* sp.). Cabe señalar que México cuenta con 375 especies dulceacuícolas de las cuales 60% son nativas, destacando en ellas el género *Chirostoma*, que forma parte de la familia Atherinopsidae. *Chirostoma jordani* es una de las especies de importancia en los charales de Tlaxcala y de México. *C. jordani*, fue considerado como la especie más primitiva del grupo “jordani” por su similitud morfológica y morfométrica con *C. estor*, lo que podría deberse a los procesos orográficos que surgieron de modificaciones lacustres y fluviales ([Urbina-Sánchez et al., 2016](#)).

El charal, se considera una especie endémica en México y su distribución se enmarca en los lagos del Valle de México como Xochimilco, Chimalhuacán, Texcoco y Tláhuac; la cuenca del Río Lerma; las lagunas de Juanacatlán (Jalisco); Santa María y San Pedro Lagunillas (Nayarit). Se encuentra distribuido en la laguna de Zacapu (Michoacán), embalses del estado de México, Tlaxcala, así como en el Lago de Tecocomulco, Hidalgo. Aunque la mayoría fueron introducidos en estados como: Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz ([Miller et al., 2005](#); [Soria-Barreto & Paulo-Maya, 2005](#); [Bustamante et al., 2018](#)).



Sin embargo, a pesar de la importancia socio-ecológica de la Presa Atlangatepec, las poblaciones de *Chirostoma* han disminuido considerablemente, lo que podría comprometer la población del charal así como su calidad como recurso pesquero (Granados, 2021); esto se debe a que el humedal presenta externalidades negativas, entre los que destacan la fluctuación en el espejo de cuerpo del agua, que de julio a agosto de 2019 tenía una capacidad de 73% (Copernicus, 2024); además, el cambio de uso de suelo hacia actividades agropecuarias, la deforestación que suma altos niveles de sedimentación (15 millones de toneladas estimadas de 1961 al 2004) y el vertimiento de aguas residuales (Urbina-Sánchez *et al.*, 2016), la sobre pesca e introducción de especies exóticas (Granados, 2021).

Conservar las especies nativas implica no sólo conocer su biología, sino también su contexto socio-ecológico para tenerlas en cuenta como necesidades básicas en el crecimiento, desarrollo y reproducción de estos organismos (Morrison, 2016); ya que la contaminación, la eutrofización y la sobreexplotación pesquera han conducido a la reducción de su producción y su baja tasa de crecimiento trayendo implicaciones en su madurez sexual, estos son algunos factores que complican el éxito de esta especie tanto reproductivo como económico (Rojas, 2013). Sin embargo, hasta el momento no existe un plan de manejo con énfasis en conservar y utilizar en forma sostenible los recursos dulceacuícolas para el desarrollo sostenible (ODS, 2023), como lo es *C. jordani* en la presa en estudio.

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la dinámica de la población del *Chirostoma jordani* en la presa Atlangatepec, Tlaxcala, mediante el uso de modelos matemáticos, análisis biométricos y la caracterización de la calidad del agua, para fundamentar el aprovechamiento sustentable de este recurso.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Localización del área de estudio

La investigación se realizó en La presa Atlangatepec, la cual se ubica al norte del estado de Tlaxcala. Forma parte de la cuenca del Río Zahuapan, región hidrológica 18, que corresponde al Río Balsas. Cuenta con un área total de 1200 ha, representando el 0.26% del territorio del estado. Sus coordenadas en unidades geográficas (DATUM WGS84) son: 19°33'31.39" N 98°10'49.87"O, con una elevación de 2488 msnm.

Esta presa posee un clima templado subhúmedo "C(w1)", con lluvias en verano, la temperatura anual está entre los 20 y 21°C (CONAGUA, 2023); forma parte de la cuenca hidrológica Río Balsas, la subcuenca es alimentada por cuatro afluentes principales: La Herradura, El Peñón, Atlangatepec (intermitentes) y Zahuapán (perenne); con un nivel de almacenamiento normal de 54.7 millones de m<sup>3</sup> (Winfield-Pérez & Fernández, 2019), rodeada de tule (*Typha* sp., y *Scirpus lacustris*), además, de otros géneros como *Marsilea* sp., *Ranunculus* sp., *Lemna* sp., *Nymphaea* sp., *Nymphoides* y *Eichornia* sp. los cuales proveen refugio a una gran diversidad de aves acuáticas (Figura 1).

## Unidades de muestreo

Las cuatro estaciones de muestreo: Aeropuerto, Compuerta, Santa Clara y San Luis, están ubicadas en la presa de Atlangatepec. La estación de muestreo San Luis está ubicada al noreste del cuerpo de agua, en las inmediaciones donde ingresa el río Zahuapan a la presa y además recolecta el agua de lluvia del 50% del área de la subcuenca, la estación Santa Clara se ubica en el noroeste de la presa y recolecta el agua de lluvia del 35% del área, la de Aeropuerto se ubica al sureste de la presa y recolecta el agua de lluvia del 5% y finalmente la estación Compuerta recolecta el agua de lluvia del 10% del área de la subcuenca y se ubica al suroeste de la presa (Figura 1).

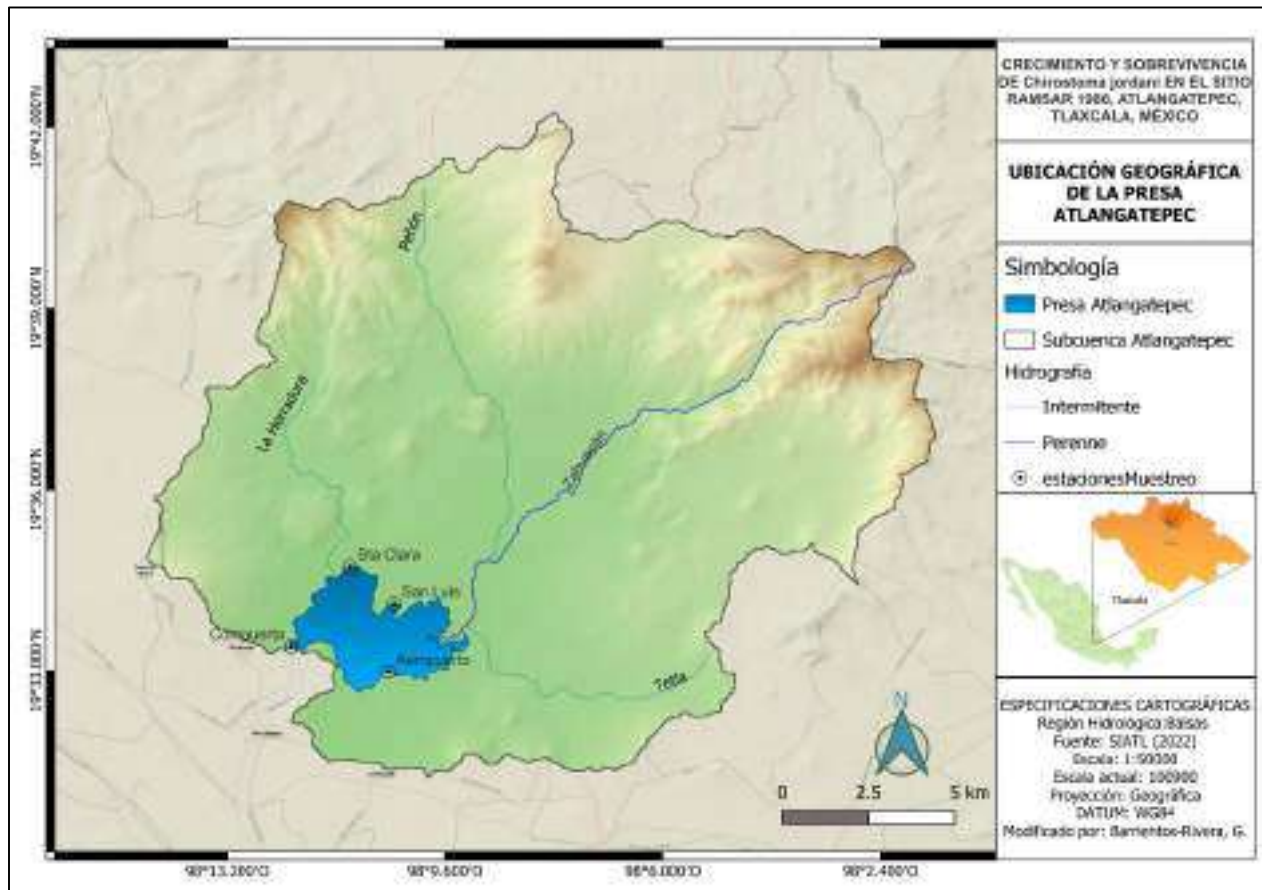


Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca de Atlangatepec, sitio Ramsar 1986, Tlaxcala, México

## Análisis de la calidad del agua

El muestreo se realizó durante la estación de estiaje (marzo de 2022) y de lluvias (agosto de 2021). Las muestras de agua se recolectaron en frascos de vidrio de boca ancha de 1 litro previamente lavadas con jabón neutro. Se colectó una muestra por periodo de cada estación. Es decir, fueron en total 8 muestras. Estas muestras se conservaron en hielo y



se protegieron de la luz solar para su transporte al laboratorio y sus posteriores análisis. De los cuales, se determinaron: sólidos totales (SCFI, 2015) y, demanda química de oxígeno (SCFI, 2012). *In situ* se registraron temperatura y pH por potenciometría con un equipo Marca OAKTON serie 310, oxígeno disuelto se determinó con un equipo marca Hach modelo HQ-40, sólidos disueltos totales y conductividad por conductimetría con un equipo marca ORION serie 105.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de las muestras, lo cual mostrará cómo las variaciones y distribución de los parámetros afectan y/o benefician la estabilidad del hábitat.

### **Análisis biométrico y modelos matemáticos**

Se recolectaron un total de 300 peces en cada muestreo, en total se evaluaron 1500 organismos, utilizando una red de arrastre de 15 x 2 m y 0.7 cm de apertura de malla. De cada ejemplar se registraron las siguientes características: longitud parcial ( $l$ ) y peso ( $W$ ), para ajustar la ecuación peso-longitud de acuerdo con Gómez (2018). En el cual se utilizó un ictiómetro con precisión en mm y el peso se determinó en una balanza granataria marca aeADAM modelo AAA300 L.

$$W_t = al_t^b \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $W_t$  es el peso de charal al tiempo  $t$ ,  $l_t$  es la longitud parcial del charal al tiempo  $t$ ,  $a$  y  $b$  son coeficientes de ajuste.

También se colectaron cinco escamas de cada ejemplar de la parte superior de la línea lateral, las cuales se desprendieron con una pinza de disección punta curva, en 150 organismos de cada muestreo, éstas se observaron en un microscopio para determinar la edad específica del organismo, mediante el análisis de sus anillos de crecimiento, con esta información se ajustó el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy (Yuan *et al.*, 2017).

$$l_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde  $l_t$  es la longitud parcial del charal al tiempo  $t$ ,  $L_\infty$  es la longitud máxima del charal,  $k$  es la razón de crecimiento,  $t_0$  es la edad hipotética para longitud 0 y  $e$  es la base de los logaritmos naturales.

También, se estimó la tasa instantánea de mortalidad anual del charal por el método de Chapman y Robson (Sierra *et al.*, 2020), mediante el análisis de la distribución de frecuencias de captura por edad en los muestreos.

$$Z = Ln \left[ \frac{(1+\bar{t}+1/n)}{\bar{t}} \right] \quad \text{Ec. 3}$$



Donde  $Z$  es la tasa instantánea de mortalidad anual del charal,  $\bar{t}$  es la edad promedio de la captura y  $n$  es el número de charales en la captura.

Y se contrastó con la estimación de la tasa instantánea de mortalidad anual ( $Z$ ), por el método de Beverton y Holt (Pope *et al.*, 2021).

$$Z = \frac{k(L_{\infty} - \bar{l})}{\bar{t} - l'} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde  $k$  y  $L_{\infty}$ , son los parámetros de la ecuación de crecimiento de Von Bettalanffy,  $\bar{l}$  es la longitud parcial promedio de la muestra y  $l'$  es la longitud parcial mínima de la muestra.

Se calcularon los rendimientos crudos, con el producto de los incrementos anuales en el crecimiento en peso del charal por la sobrevivencia anual, calculada con el modelo de Chapman y Robson, así como el modelo de Beverton y Holt.

Para finalizar, se elaboró una base de datos para su posterior análisis estadístico, es cual consistió en un análisis descriptivo en el que se evaluó el valor máximo, mínimo, media y desviación estándar, utilizando Microsoft Excel Professional Plus 2019 y, se utilizó el software Past 4.13 para ajustar los modelos matemáticos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de la calidad del agua en la presa

Los valores observados en los muestreos de las cuatro estaciones en las dos épocas de muestreo se comportaron de la siguiente manera. El pH osciló entre 7.3 y 8.8 unidades, con un promedio de 7.9, el valor más bajo se presentó en la época de lluvia en la estación de muestreo Aeropuerto y el más alto en la época de estiaje en la estación de muestreo San Luis; valores ligeramente básicos; según la información descrita por Viguera-Velázquez *et al.* (2020), el pH es adecuado para las condiciones de vida de la especie *Chirostoma jordani*. En cuanto a la temperatura está fluctuó entre  $19.8 \pm 2.7$  °C. La temperatura es crítica para el desove e incubación; su valor óptimo es de 15.1 a 30°C (Latournerié-Cervera *et al.*, 2021; Mar 2015). Las altas temperaturas durante el desarrollo temprano pueden afectar la proporción del sexo, como es el caso de *C. estor* (Corona-Herrera *et al.*, 2016), ya que es un mecanismo que puede verse afectado en un escenario de cambio climático (Strüssmann *et al.*, 2010).

El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro que se debe controlar por el consumo de alimento, es decir, a menor concentración de OD el consumo de alimento se reduce, lo que genera deficiencia del crecimiento. Se mostraron valores en un rango de 1.8 a 6.7 mg L<sup>-1</sup>, con una media de 5.1 mg L<sup>-1</sup>. Se registraron valores inferiores en época de lluvia (1.8 mg L<sup>-1</sup> y 2.1 mg L<sup>-1</sup>), en época de estiaje se presentaron de 6.5 a 6.7 mg L<sup>-1</sup>. Concentraciones superiores a 6.5 mg L<sup>-1</sup> son los óptimos para evitar estrés y/o posible



anoxia (Vázquez-Burgos *et al.*, 2019). Aunque al igual que *C. estor* soporta concentraciones mínimas de aproximadamente  $4.5 \text{ mg L}^{-1}$  (Paca *et al.*, 2019). Los sólidos totales (ST) oscilan entre 395 a  $705 \text{ mg L}^{-1}$ , con una media de  $549 \text{ mg L}^{-1}$ . Los sólidos disueltos totales (SDT), mostraron el mismo comportamiento que los sólidos totales, con un rango de 328 a  $642 \text{ mg L}^{-1}$ , para la estación Aeropuerto y un promedio de  $480 \text{ mg L}^{-1}$ . Las estaciones de muestreo Aeropuerto y Compuerta, mostraron una mayor concentración de sólidos totales y sólidos disueltos totales en la época de lluvia; mientras que las estaciones Santa Clara y San Luis, presentaron un comportamiento inverso, estos resultados permiten suponer que es debido a la entrada de agua del río Zahuapan (Figura 2); los valores observados de sólidos totales se ubican alrededor de los valores mínimos observados por Mar (2015) ( $440 \text{ mg L}^{-1}$ ), para el Lago Cuitzeo, donde habita el charal.

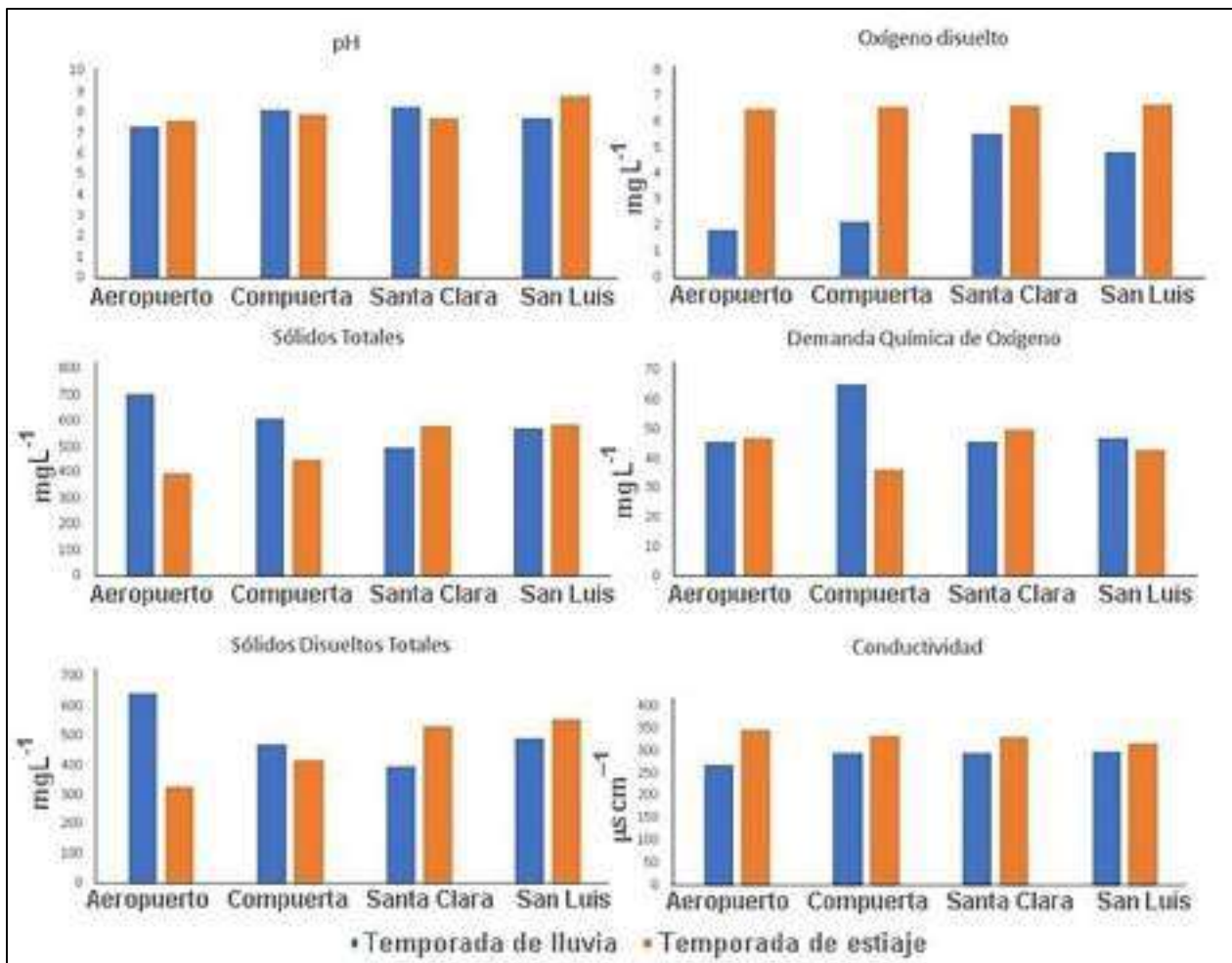


Figura 2. Comportamiento de las variables pH, Oxígeno disuelto, Sólidos totales, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Disueltos Totales y Conductividad, para cuatro estaciones de muestreo de la presa de Atlangatepec, Tlaxcala, en temporada de estiaje y de lluvia



En la estación Compuerta la demanda química de oxígeno (DQO), osciló entre los 36 y 65 mg L<sup>-1</sup> para la época de estiaje y de lluvia, respectivamente, y un valor promedio de 47.5 mg L<sup>-1</sup> para las cuatro estaciones, estos valores son menores comparados con los que reportó [Arana et al. \(2017\)](#) (97 a 109 mg L<sup>-1</sup>).

Finalmente, la conductividad fluctuó en un rango de 271 a 346  $\mu\text{s cm}^{-1}$ , con un valor promedio de 311  $\mu\text{s cm}^{-1}$  y en la estación Aeropuerto donde se presentaron los valores extremos, el menor en la época de lluvia y el mayor en la de estiaje (Figura 2). Sin embargo, son registros que se ubican por debajo a los que reporta [CONACYT-CONAGUA \(2017\)](#), en un rango de 675 a 4350  $\mu\text{s cm}^{-1}$  para el lago de Xochimilco, pero semejantes a los que obtiene [Soto-Galera et al., \(2008\)](#) (20-240  $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) que se considera como una conductividad baja a moderada. De lo anterior se infiere que a pesar de los valores reportados de ingreso de contaminantes por el río Zahuapán y los sedimentos transportados cuenca arriba debido a la precipitación pluvial, la calidad del agua de la presa de Atlangatepec, se encuentra dentro de los rangos reportados para esta especie en otros cuerpos de agua del altiplano mexicano.

#### **Análisis biométrico y modelos matemáticos de *C. jordani***

La longitud parcial del charal manifestó un valor promedio de 7.0 cm (N=1500), con observaciones en el rango de 5.1 a 8.8  $\pm$  0.44 cm; el peso fluctuó entre 1.58 y 5.53 g, con un valor promedio de 3.35 g (N=1500); finalmente la edad osciló entre los 3 y 6 años, con valor promedio de 4.5 años (N=750).

La ecuación que describe la relación entre el peso en g ( $W_t$ ) y la longitud parcial en cm ( $l_t$ ) del charal (Ec. 1), con un  $r^2=0.96$  (Figura 3):

$$W_t = 0.011084 l_t^{2.9247} \quad \text{Ec. 5}$$

Existe una variabilidad en los valores de los parámetros de ajuste de la relación peso-longitud (a y b), a lo largo del año y entre sexos, para el charal (*C. jordani*) ([Latournerié-Cervera et al., 2021](#)), así también para diferentes cuerpos de agua ([Gómez, 2018](#); [Olvera-Blanco et al., 2009](#)), los parámetros del modelo estimados en este trabajo, están dentro de los rangos observados en otros cuerpos de agua, aunque describe un comportamiento diferente, como se puede observar en la figura 4, la proyección más allá del rango observado de los datos, genera valores obtenidos de otros cuerpos de agua que se ubican fuera de rango para la especie. Por esta razón la ecuación calculada de la relación peso-longitud para la presa de Atlangatepec, resulta útil para trabajos de pesquería de esta especie en este cuerpo de agua y si fuera necesario se puede analizar su variabilidad a lo largo del año y entre sexos.

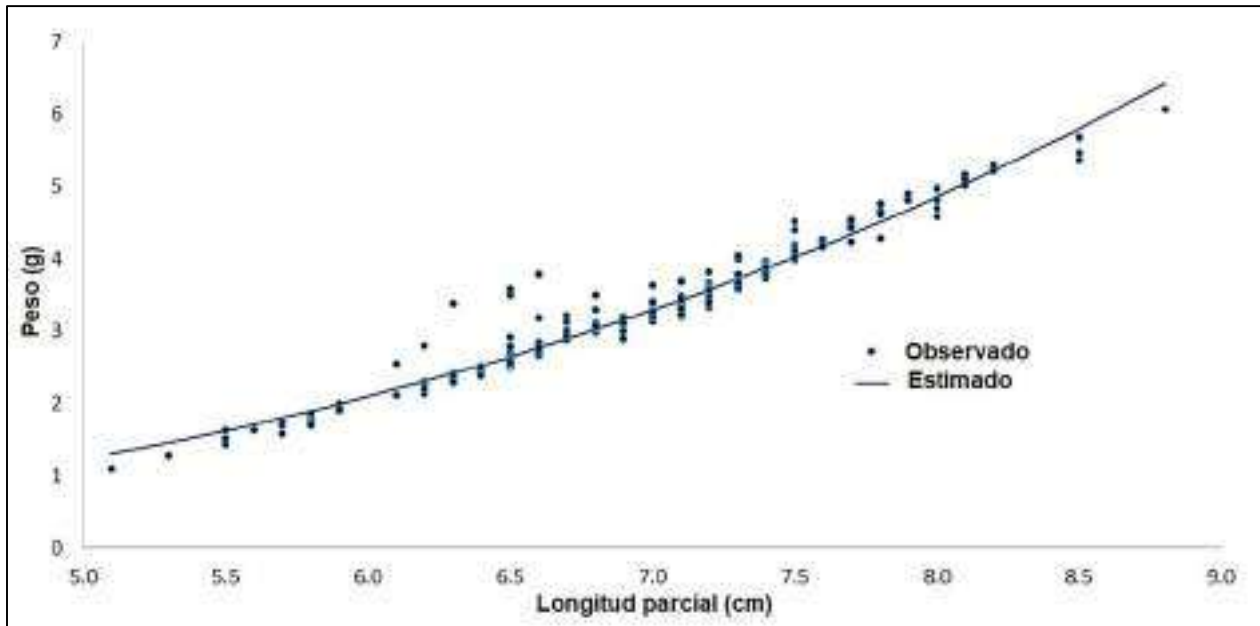


Figura 3. Relación peso-longitud de *Chirostoma jordani*, que habita el Sitio Ramsar 1986 Presa de Atlangatepec (N=1500)

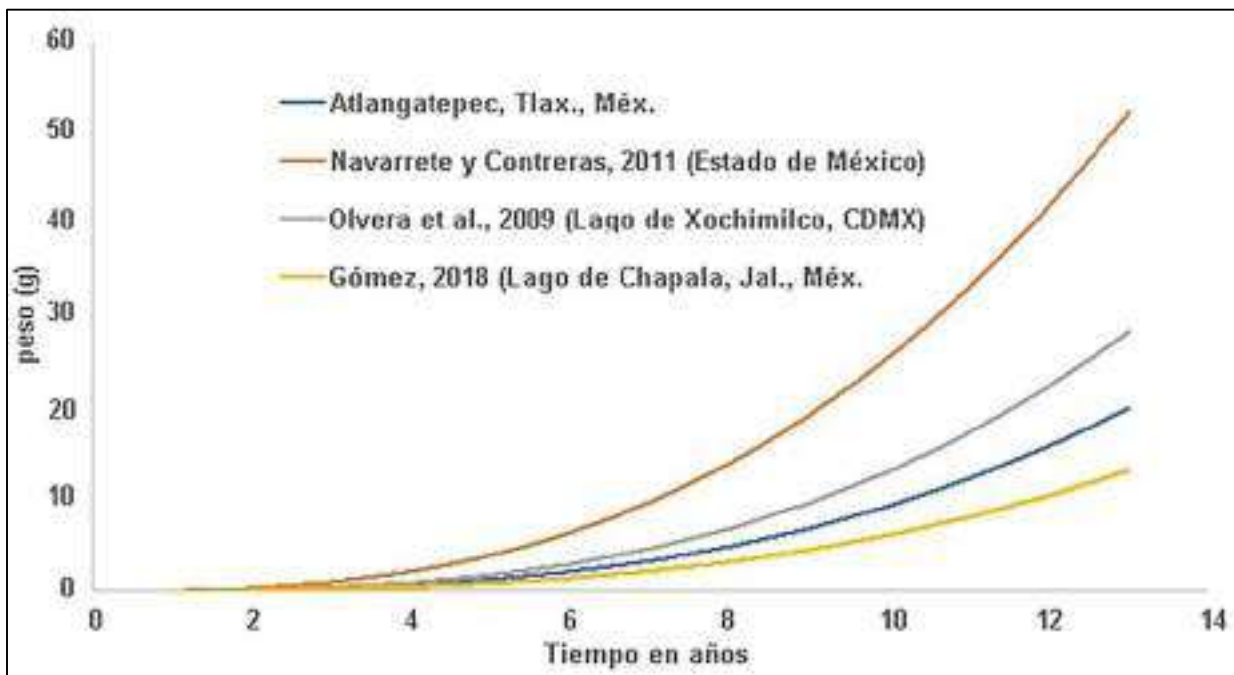


Figura 4. Proyección de cuatro modelos que describen la relación peso-longitud, para Atlangatepec, Tlaxcala, Estado de México, Lago de Xochimilco y el Lago de Chapala



El modelo que describe el crecimiento en longitud parcial del charal ( $l_t$ ), está dado por la ecuación de Von Bertalanffy (Figura 5) (Ec. 2), con un  $r^2=0.98$ :

$$l_t = 11.3(1 - e^{(-0.19(t+0.59)}) \quad \text{Ec. 6}$$

De los parámetros del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy ajustado para el charal, en esta y otras investigaciones, se observa que la longitud máxima del charal ( $L_\infty$ ), muestra diferentes valores dependiendo de la región (Nico, 2023; Gómez, 2018; Navarrete-Salgado & Contreras-Rivero, 2011) y el valor registrado para la presa de Atlangatepec, que fue de 11.3 cm, que lo ubica en el mayor valor reportado para la especie. Así también las tasas de crecimiento ( $k$ ), manifiestan una variabilidad que va de valores de -0.5861 para el estado de México (Navarrete-Salgado & Contreras-Rivero, 2011) a -1.36 para Chapala, Jalisco (Gómez, 2018), el valor calculado para la presa de Atlangatepec, está fuera de este rango con un valor de -0.19. Con relación al tiempo hipotético donde la longitud del charal es 0, igual presenta valores que van de -0.08 para Chapala, Jalisco (Gómez, 2018) a -0.418 para el Estado de México (Navarrete-Salgado & Contreras-Rivero, 2011), valores más cercanos a 0 que el calculado en este trabajo de -0.51. Esto permite suponer, que al igual que en el modelo de la relación peso-longitud, los parámetros estimados son característicos de cada región.

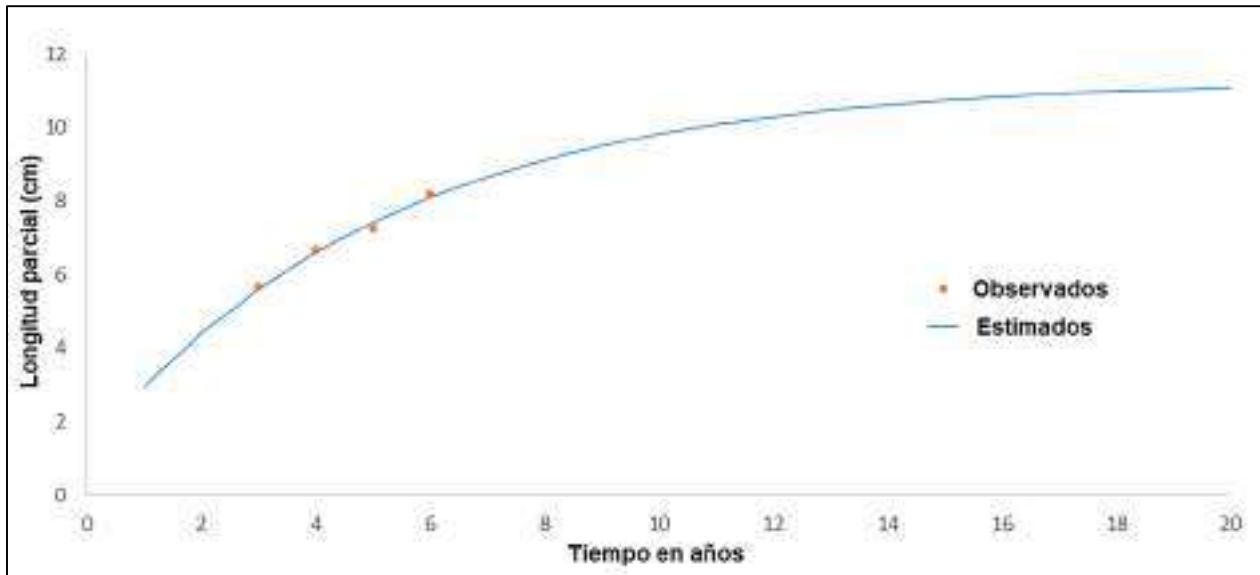
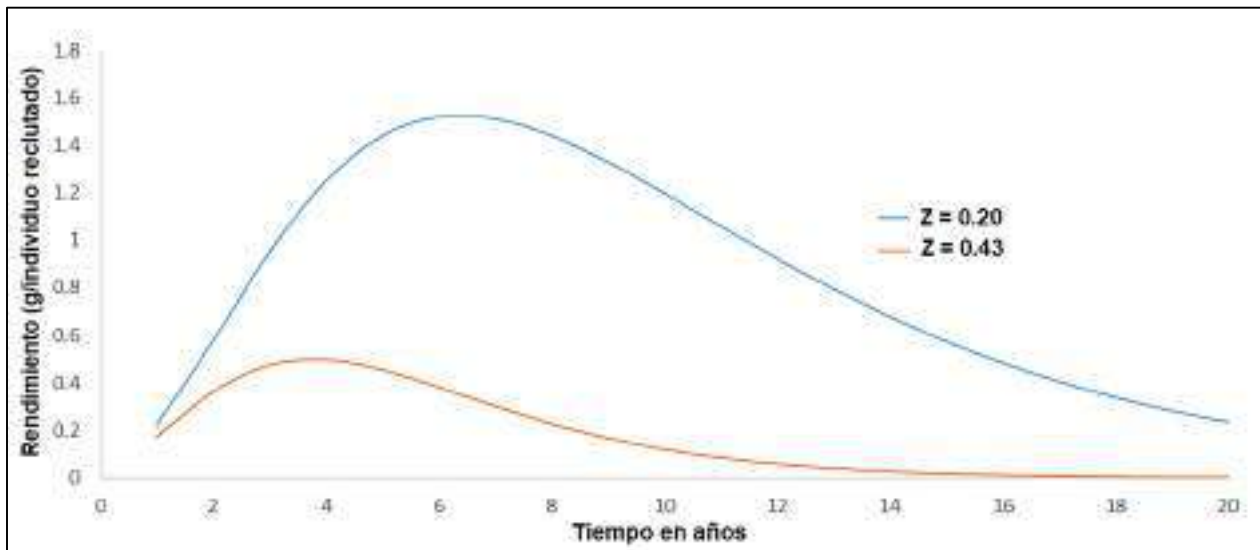


Figura 5. Crecimiento de *Chirostoma jordani*, observado y estimado con el modelo de Von Bertalanffy, para el sitio Ramsar 1986 Atlangatepec, Tlaxcala

La tasa instantánea de mortalidad anual del charal, estimada por el método de Chapman y Robson (Sierra *et al.*, 2020) (Ec. 3), fue de 0.20 y estimada con el método de Beverton y Holt fue de 0.43 (Ec. 4), ambas con una  $N=1500$ .

La tasa instantánea de mortalidad estimada por los dos métodos difieren considerablemente, la estimada por el método de Beverton y Holt (-0.43), duplica en valor a la estimada por el método de Chapman y Robson (-0.20), aun así estos valores están muy por debajo de las reportadas por [Gómez \(2018\)](#), de -1.33 para el charal, estimada por el método de Beverton y Holt para el lago de Chapala, esto debido a que en ese trabajo reportan una tasa instantánea de crecimiento del charal para el modelo de Von Bertalanffy de -1.36, que permite alcanzar al charal su crecimiento máximo casi a los 2 años de edad, valor muy inferior a la calculada en este trabajo que alcanza su máximo crecimiento a los 14 años (con una tasa instantánea de crecimiento de -0.19). Considerando también que las capturas se distribuyeron en un rango de edad de 3 a 6 años, y la edad con mayor mortalidad (1 y 2), no fueron representadas. Debido a estas observaciones se sugiere estimar con otros métodos la mortalidad del charal en la presa de Atlangatepec, que permita fundamentar un buen cálculo de sus razones óptimas de captura para lograr un aprovechamiento sustentable de esta especie, por ejemplo, con el método de ajuste de curvas de captura ([Sierra et al., 2020](#)).



**Figura 6. Rendimiento estimado de *Chirostoma jordani*, expresado como gramos de charal por individuo reclutado, para dos tasas instantáneas de mortalidad total, en el sitio Ramsar 1986 Atlangatepec, Tlaxcala**

En los máximos rendimientos crudos del charal (Figura 6), se observa una diferencia entre las dos tasas instantáneas de mortalidad anual, para  $Z=0.2$  (Chapman y Robson), el rendimiento es de 1.52 g por cada individuo con una edad óptima de captura de 6 años y para  $Z=0.43$  (Beverton y Holt), el rendimiento es de 0.5 g por cada individuo con una edad óptima de captura de 4 años. Es decir, los máximos rendimientos crudos del charal para la presa Atlangatepec, estimado referidos a la tasa instantánea de mortalidad



calculada con el método de Beverton y Holt, sugieren una edad óptima para su captura de 4 años, es una estimación semejante al que se tiene en los muestreos de esta investigación (4.5 años). Sin embargo, se debe constatar la estimación de la tasa instantánea de mortalidad, para asegurar que los pescadores de Atlangatepec, están realizando un aprovechamiento óptimo del *Chirostoma jordani*.

## CONCLUSIÓN

Las características fisicoquímicas de la presa de Atlangatepec están dentro del rango observado en otros cuerpos de agua donde habita *Chirostoma jordani*, lo que indica que la calidad del agua de la presa es aceptable para diferentes usos, tales como el desarrollo de la vida acuática. Sin embargo, las actividades agrícolas que se llevan a cabo en la periferia pueden influir en la calidad del agua.

La relación entre el peso ( $W$ ) y la longitud parcial del charal ( $l$ ), está descrita por la ecuación  $W_t = 0.011084 l_t^{2.9241}$  y su crecimiento en longitud parcial por el modelo de Von Bertalanffy  $l_t = 11.3 (1 - e^{(-0.19(t + 0.59)})$ ), donde los parámetros de estas ecuaciones son específicos de la especie para este cuerpo de agua y se encuentran dentro de los rangos reportados para otros estudios en cuerpos de agua del altiplano mexicano.

Las tasas instantáneas de mortalidad calculadas en esta investigación manifiestan valores muy por debajo de las reportadas en otros trabajos para esta especie, sin embargo, la estimada por el método de Beverton y Holt (0.43), supone que existe actualmente un adecuado aprovechamiento del charal en la presa, con una edad óptima de captura de 4 años. No obstante, se sugiere calcular la tasa instantánea de mortalidad por otro método, para constatar estos hallazgos.

## LITERATURA CITADA

ARANA MF, Bojórquez CL, Esquivel HA, Latournerié CJ, Rosiles MR, Soto CR. 2017. Contaminación química y biológica en la zona lacustre de Xochimilco. Ciudad de México. Editorial Universidad Autónoma Metropolitana. Pp. 137. ISBN: 978-607-28-1084-6. [https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/contaminacion\\_quimica.pdf](https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/contaminacion_quimica.pdf)

BUSTAMANTE GJD, Cortés GA, Avalos RA, Figueroa LG, Arenas RE, Rodríguez GM. 2018. Semen evaluation in *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) and *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes, 1835), Mexican native species (Atheriniformes: Atherinopsidae). *International Journal of Aquatic Sciencia*. 9 (1): 38-43. ISSN: 2008-8019. [https://www.journal-aquaticscience.com/article\\_70721.html](https://www.journal-aquaticscience.com/article_70721.html)



CORONA-HERRERA GA, Tello-Ballinas JA, Hattori RS, Martínez-Palacios CA, Strüssmann CA, Cárdenas-Reygadas RR, Martínez-Chávez CC. 2016. Gonadal differentiation and temperature effects on sex determination in the freshwater pike silverside *Chirostoma estor* Jordan 1880. *Environmental Biology of Fishes*. 99(1): 463-471. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s10641-016-0491-z>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2023. *Sistema Meteorológico Nacional*. México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

CONACYT-CONAGUA (Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología – Comisión Nacional del Agua). 2017. *Contaminación química y biológica en la zona Lacustre de Xochimilco*. Universidad Autónoma de México, Ciudad de México. Inventario Nacional de Humedales de México. Pp. 29.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102216/Xochimilco.pdf>

COPERNICUS (The Copernicus Data Space Ecosystem). 2024. *Datos satélites Copernicus de la EU*. <https://dataspace.copernicus.eu/about>

GRANADOS SRR. 2021. Evaluación de la contaminación en la Presa Atlangatepec, Tlaxcala y su posible efecto en la condición biológica de *Chirostoma* sp. Tesis de Maestría en Ciencias en Energía y Medio Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana. México. Pp. 150. <https://bindani.izt.uam.mx/concern/tesiuams/zg64tm16v>

GÓMEZ VHD. 2018. *Estructura poblacional y actividad reproductiva del charal (Atherinopsidae: Chirostoma) en el Lago de Chapala, México*. Centro Universitario de Cs. Biológicas y Agropecuarias: Editorial Biblioteca Básica de Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales. Pp. 12. ISBN: 2020-07-23T06:04:43Z.

<http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/6041>

LARA RC, Serrano MA, Vázquez PJ. 2015. *Contribución al conocimiento de la Biodiversidad en Tlaxcala*. Pp. 143. MMXV-UATX, México. ISBN: 978-607-8432-26-4.

[https://www.researchgate.net/publication/278964088\\_Contribucion\\_al\\_conocimiento\\_de\\_la\\_Biodiversidad\\_en\\_Tlaxcala/citations#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/278964088_Contribucion_al_conocimiento_de_la_Biodiversidad_en_Tlaxcala/citations#fullTextFileContent)

LATOURNERIÉ-CERVERA JR, Rangel-Nambo MI, Estrada-Ortega AR. 2021. Ecophysiology of *Chirostoma jordani* Pisces: Antherinopsidae. Habitat Characterization and Population Dynamics in a Periurban Lake (Xochimilco, México). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 16: 1-7. ISSN: 1557.

<https://doi.org/10.3844/ajabssp.2021.1.7>



MAR SV. 2015. Ecología trófica de *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) en el lago de Cuitzeo. Repositorio Institucional de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. México. Pp. 36. ISBN: 2020-07-17T15:11:10Z.

[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/1730](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1730)

MILLER RR, Minckley WL, Norris SM. 2005. Freshwater fishes of Mexico. The University of Chicago Press. Pp. 490. <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-ECOSUR:43720/Description>

MORRISON SA. 2016. Designing virtuous socio-ecological cycles for biodiversity conservation. *Biological Conservation*. 195: 9-16.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.022>

NAVARRETE-SALGADO NA, Contreras-Rivero G. 2011. Crecimiento y mortalidad del charal (*Menidia jordani*) en el estanque Guillermo Lagunes (GL), Estado de México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 17(3): 407-410. ISSN: 2007-3828.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40182011000300010&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40182011000300010&script=sci_arttext)

NICO L. 2023. *Chirostoma jordani* Woolman, 1894: Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database. *Gainesville*. 9:20.

<https://nas.er.usgs.gov/queries/factsheet.aspx?SpeciesID=317>

ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible). 2023. Objetivo 16: Agua y Saneamiento. México. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

OLVERA-BLANCO YM, Gómez-Marquez JL, Peña-Mendoza B, Gaspar-Dillanes MT, Pérez C. 2009. Reproductive biology of *Menidia jordani* (Atheriniformes: Atherinopsidae) in Xochimilco Lake, Mexico. *Ciencia Pesquera*. 65-75.

<https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP17-2/Biolog%C2%A1a%20reproductiva%20de%20Menidia%20jordani%20Atheriniformes%20Atherinopsidae.pdf>

PACA JM, Santos FM, Pires JC, Leitao AA, Boaventura RA. 2019. Quality assessment of water intended for human consumption from Kwanza, Dande and Bengo rivers (Angola).

*Environmental Pollution*. 254: 113037. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113037>



POPE JG, Gislason H, Rice JC, Daan N. 2021. Scrabbling around for understanding of natural mortality. *Fisheries Research*. 240: 105952. ISSN: 0165-7836.

<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.105952>

ROJAS CPM. 2013. *Avances en el cultivo del pescado blanco*. Instituto Nacional de Pesca, México. Pp. 7-23. ISBN: 978-607-827-4-07.9.

[https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/librosdivulgacion/Pescado\\_blanco.pdf](https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/librosdivulgacion/Pescado_blanco.pdf)

SÁNCHEZ-SANTILLÁN N, Guzmán RS, Sánchez-Trejo R, Ritter OW, Lázaro-Chávez Mancilla E. 2004. La influencia de la oscilación de la temperatura del aire sobre el ecosistema de la Presa de Atlangatepec, Tlaxcala, México. *Hidrobiológica*. 14(1): 75-84. ISSN 0188-8897.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972004000100010&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972004000100010&script=sci_arttext)

SCFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 2015. Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. NMX-AA-034-SCFI-2015, México: Diario Oficial de la Federación. Pp. 7.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>

SCFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 2012. Análisis de agua - Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba - parte 1 - Método de reflujó abierto. NMX-AA-030/1-SCFI-2012, México: Diario Oficial de la Federación. Pp. 14.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2018. *Programa de acción para la conservación de las especies *Ambystoma* spp.* México. Pp. 53-57.

<https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programas-de-accion-para-la-conservacion-de-especies-pace-123484>

SIERRA CL, Pawluk M, Fujiwara M. 2020. Estimating mortality for the assesment of a small-scale fishery: Lane snapper (*Lutjanus synagris*) in Honduras. *Fisheries Research*. 231: 105709. ISSN: 0165-7836. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105709>

STRÜSSMANN CA, Conover DO, Somoza GM, Miranda LA. 2010. Implications of climate change for the reproductive capacity and survival of New World silversides (family Atherinopsidae). *Journal of Fish Biology*. 77(8): 1818-1834.

<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02780.x>



SOTO-GALERA E, Paulo-Maya J, Lyons J. 2008. Threatened fishes of the world: *Chirostoma riojai* (Solorzano and López, 1965) (Atherinopsidae). *Environmental biology of fishes*. 83: 343-344. <https://doi.org/10.1007/s10641-008-9346-6>

SORIA-BARRETO M, Paulo-Maya J. 2005. Morfometría comparada del aparato mandibular en especies de *Chirostoma* (Atheriniformes: Atherinopsidae) del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Hidrobiológica* 15. Pp.161-168.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-8972005000200005&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-8972005000200005&script=sci_arttext)

URBINA-SÁNCHEZ I, Paniagua-Chávez CG, Fierro R, Figueroa-Lucero G, Barriga-Sosa IDLA. 2016. Variación cariotípica intraespecífica en el pejerrey *Chirostoma humboldtianum* (Atheriniformes: Atherinopsidae). *Hidrobiológica*. 26 (1): 93-101. ISSN: 0188-8897.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972016000100012&script=sci\\_arttext&lng=en](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972016000100012&script=sci_arttext&lng=en)

VÁZQUEZ-BURGOS JL, Carbajal-Hernández JJ, Sánchez-Fernández LP, Moreno-Armendariz MA, Tello-Ballinas JA, Hernández-Bautista I. 2019. An Analytical Hierarchy Process to manage water quality in white fish (*Chirostoma estor estor*) intensive culture. *Computers and electronics in agriculture*. 167: 105071.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105071>

VIGUERAS-VELÁZQUEZ ME, Carbajal-Hernández JJ, Sánchez-Fernández LP, Vázquez-Burgos JL, Tello-Ballinas JA. 2020. Weighted fuzzy inference system for water quality management of *Chirostoma estor estor* culture. *Aquaculture Reports*. 18: 100487.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100487>

WINDFIELD PJC, Fernández JA. 2019. Nuevo registro del águila cabeza blanca, *Haliaeetus leucocephalus* (Accipitriformes: Accipitridae) en la presa de Atlangatepec, Tlaxcala, México. *Huitzil*. 20(2): 534. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.2.398>

YUAN Q, Song G, Fullana-i-Palmer P, Wang Y, Semakula HM, Mergia MM, Zhang S. 2017. Water footprint of feed required by farmed fish in China based on a Monte Carlo-supported von Bertalanffy growth model: A policy implication. *Journal of Cleaner Production*. 153: 41-50. ISSN: 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.134>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-14. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.14>

Artículo Original. Recibido: 17/03/2023. Aceptado:23/07/2024. Publicado: 10/08/2024. Clave: e2023-21.

<https://www.youtube.com/watch?v=BWmRadLOee0>

## Bentonita en vacas lecheras de sistemas semiintensivos en zona de montaña

Bentonite in dairy cows from semi-intensive systems in mountain areas



Castro-González Numa\*<sup>1</sup> , Calderón-Sánchez Francisco\*\*<sup>2</sup> , Pérez-Sato Marcos<sup>1</sup> , Soni-Guillermo Eutiquio<sup>1</sup> , Valencia-Franco Edgar<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, San Juan Acateno, Teziutlan, Puebla, México, C.P. 73900. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Puebla Km. 125.5 carretera federal México-Puebla, C.P. 72760, Puebla, Puebla, México. \*Autor responsable: Castro-González Numa. \*\*Autor de correspondencia: Calderón-Sánchez Francisco. E-mail: numa.castro@correo.buap.mx, fsanchezs@colpos.mx, marcos.perez@correo.buap.mx, eutiquio.soni@correo.buap.mx, edgar.valencia@correo.buap.mx

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de bentonita de sodio (BS) sobre la producción de leche, calidad fisicoquímica de la leche, retención de placenta, servicios por concepción, tasa de concepción y tasa de preñez en ganado lechero bajo condiciones semiintensivas en zona de montaña. Fueron utilizados 20 bovinos formando dos grupos, T1(n=10) sin BS y T2(n=10) con BS al 2 % de materia seca total (MS). La producción de leche mostró ( $p \leq 0.05$ ) en donde T2 exhibió un incremento del 36.87 % frente a T1. Las variables; grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos mostraron ( $p \leq 0.05$ ) con el uso de BS (T2). Retención de placenta, servicios por concepción, tasa de concepción y tasa de preñez mostraron ( $p \leq 0.05$ ) con la adición de BS. En conclusión, la Bentonita de sodio puede ser utilizada al 2 % en la alimentación de ganado bovino para incrementar la producción y mejorar la calidad fisicoquímica de la leche, y optimizar los parámetros reproductivos en sistemas de producción semiintensivos en zona de montaña.

**Palabras clave:** arcillas, producción y calidad de leche, parámetros reproductivos.

### ABSTRACT

Aim of this work was to evaluate the effect of the inclusion of sodium bentonite (BS) on milk production, physicochemical quality of milk, placenta retention, services per conception, conception rate and pregnancy rate in low-income dairy cattle. semi-intensive conditions in mountain area. Twenty cattle were used, and two groups were formed, T1(n=10) without BS and T2(n=10) with BS at 2 % dry matter (DM). Milk production showed ( $p \leq 0.05$ ) where T2 exhibited an increase of 36.87 % compared to T1. Variables: fat, protein, lactose, and non-fat solids showed ( $p \leq 0.05$ ) with the use of BS (T2). Placenta retention, services per conception, conception rate and pregnancy rate showed ( $p \leq 0.05$ ) with the addition of BS. In conclusion, sodium bentonite can be used at 2 % in cattle feed to increase production and improve the physicochemical quality of milk and optimize reproductive parameters in semi-intensive production systems in mountain areas.

**Keywords:** clays, milk production and quality, reproductive rates.



## INTRODUCCIÓN

El inicio de la lactación en la vaca lechera, es una fase crítica donde ocurren diversos procesos metabólicos y fisiológicos. Posterior al parto, se origina alta demanda de nutrientes para la producción de leche, lo cual conduce a que las vacas puedan sufrir un balance energético negativo; como respuesta a ello, se suscita una remoción lipídica de las reservas corporales (Drackley, 1999; Butler, 2003), desencadenando un aumento de ácidos grasos no esterificados en el plasma sanguíneo, siendo estos últimos movilizados al hígado para ser sintetizados en cuerpos cetónicos (Drackley *et al.*, 2001; Djoković *et al.*, 2013).

El proceso antes expuesto, es causado por un bajo consumo de materia seca, lo que imposibilita que la vaca obtenga la energía necesaria para mantener el metabolismo basal y la producción de leche (Grummer *et al.*, 2004; Folnožić *et al.*, 2015). El efecto inmediato, es que conduce al animal a un deterioro en la condición corporal y aumento en la probabilidad de padecer trastornos metabólicos durante el postparto, los cuales se asocian a mayores pérdidas de condición corporal (CC) y elevados niveles de ácidos grasos no esterificados. Por tanto, estos animales presentan una marcada inmunosupresión, con mayor incidencia de retención de placenta y en consecuencia metritis y/o mastitis, así como hipocalcemia e hipomagnesemia, cetosis, desplazamientos de abomaso e hígado graso (Meléndez *et al.*, 2004; Meléndez *et al.*, 2009; Roche *et al.*, 2015; Akbar *et al.*, 2015; Berry *et al.*, 2016) lo que puede derivarse en desnutrición, retardo en la ciclicidad postparto, tasa de concepción reducida y por ende, una tasa de preñez disminuida.

Ante esta problemática se han probado distintas estrategias de alimentación, dentro de estas podemos encontrar el uso de arcillas, con las cuales se ha pretendido mejorar la condición corporal antes y después del parto, tratando de prevenir y reducir los problemas metabólicos y a la vez, incrementar la producción de leche, (Mikolaichik & Morozova, 2009; Folnožić *et al.*, 2019).

Dentro de las arcillas que podrían prevenir los problemas metabólicos en vacas lecheras se encuentra la bentonita de sodio, que es un filosilicato con cationes intercambiables de sodio o calcio con láminas expansivas (Serwicka & Bahranowski, 2004), cuya cualidad al ser utilizada en la alimentación animal es la de proteger a la proteína del alimento de ser degradada por los microorganismos del rumen, de modo que secuestra y transporta aminoácidos al intestino delgado para ser absorbidos (Gouda *et al.*, 2019). Esto es importante de tomar en cuenta debido a que la proteína es esencial para la producción de leche, debido a que el animal requiere de aminoácidos esenciales para la síntesis de caseína y otras proteínas menores de la leche (NRC, 2001).

Además, se ha reportado que la bentonita tiene la cualidad para mejorar la digestibilidad de la materia seca y con ello aumentar la conversión alimenticia y la productividad, al



mismo tiempo que mejora la condición corporal, la cual tiene estrecha relación con la salud reproductiva ([Gutiérrez et al., 2008](#); [Gouda et al., 2019](#)).

Debido a lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de bentonita de sodio sobre la producción y calidad fisicoquímica de la leche, retención de placenta, servicios por concepción, tasa de concepción y tasa de preñez en ganado lechero bajo condiciones semi intensivas en zona de montaña.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Localización

La presente investigación se realizó en el “Rancho Xacuinco”, propiedad de un productor cooperante, ubicado en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla; su localización geográfica es 19°49′53.96″ y 97°30′49.9″ a 2033 msnm, con un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano, una temperatura que va de los 10 a los 24 °C y un rango de precipitación de 600 a 4100 mm ([INEGI, 2020](#)).

### Bentonita de sodio

La arcilla utilizada en el presente trabajo es un polvo fino, color beige, con certificación de calidad que respalda la siguiente composición; SiO<sub>2</sub> 60 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12 %; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3 %; MgO 2.3 %; CaO 3.49 %; Na<sub>2</sub>O 1.8 %; agua molecular 8.4 % (Nutrición Planificada S.A. de C.V. México).

### Animales

Fueron utilizadas 20 vacas adultas (3 partos) de la raza Holstein Friesian gestantes en periodo seco, y con 20 días de proximidad al parto. Se formaron aleatoriamente dos tratamientos de acuerdo con el peso vivo (PV) (476 ±30 kg) ([Heinrichs et al., 1992](#)) y condición corporal. Los tratamientos quedaron de la siguiente manera; Tratamiento 1 (T1) 0 % de bentonita de sodio y Tratamiento 2 (T2) 2 % de bentonita de sodio. Los animales utilizados en este trabajo fueron tratados con ética y responsabilidad, cuidando el bienestar de acuerdo al reglamento para el uso y cuidado de los animales destinados a la investigación del Colegio de Postgraduados 02.11.16 ([COLPOS, 2016](#)).

### Alimentación

La dieta de ambos tratamientos se inició en la fase de periodo seco, fue a base de ensilado de maíz, pastoreo en praderas de pasto orchard (*Dactylis glomerata*) y concentrado con el 17.5 % de proteína cruda y 3.0 Mcal kg<sup>-1</sup> de energía metabolizable (EM), dicha dieta fue proporcionada de acuerdo al manejo tradicional del productor, considerando un 80 % de forraje y 20 % de concentrado en el periodo seco.

La inclusión de la BS fue calculada al 2 % del consumo total de materia seca (CMS) de los animales en periodo seco y en la lactancia ([NRC, 2001](#)). La alimentación en ambos tratamientos se inició 20 días antes del parto contando con una semana de adaptación, donde al T2 le fue adicionada la BS y al T1 únicamente se le proporcionó alimento



concentrado sin adición de BS, en ambos casos el concentrado se proporcionó dos veces al día 6:00 am y 5:00 pm. Posterior al parto la dieta fue proporcionada utilizando los mismos ingredientes que en el periodo seco, pero la proporción fue modificada a 50 % forraje y 50 % de concentrado.

### **Producción de leche y calidad fisicoquímica de la leche**

La recolección de muestras y el pesado de la producción de leche se inició a los 6 días posteriores al parto, descartando el calostro e iniciando la medición con la leche de transición. La medición de la producción de leche se realizó pesando esta, con ayuda de una báscula digital (Pretul BASE-40P, China), mañana y tarde de forma individual cada 15 días hasta el día 111 de lactación. En el ordeño de la mañana y directamente de la ubre, fueron colectadas muestras de leche en tubos Falcon (Fisher Scientific, Waltham, MA, USA), a las que inmediatamente se les determinó el pH, por medio de un potenciómetro portátil (Ohaus ST10 Pen Meter, Parsippany, NJ). Las muestras se colocaron en una hielera a una temperatura de 4°C, para transportarse al laboratorio donde se les realizó el análisis fisicoquímico.

El Análisis fisicoquímico de la leche fue realizado con un analizador ultrasónico de leche (Milkotronic LTD Lactoscan SL30, Bulgaria), en donde las variables medidas fueron proteína, grasa, sólidos no grasos y lactosa.

### **Variables reproductivas**

Las variables reproductivas evaluadas fueron; retención de placenta ([Córdova-Izquierdo et al., 2017](#)), Tasa de concepción ([Petit & Twagiramungu, 2006](#)), Servicios por concepción ([Rocha et al., 2001](#)) y Tasa de preñez ([La Torre, 2001](#)).

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de las variables: calidad fisicoquímica de la leche, producción de leche y variables reproductivas fueron analizadas mediante una prueba de t-student para muestras independientes, utilizando el programa SPSS 18.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

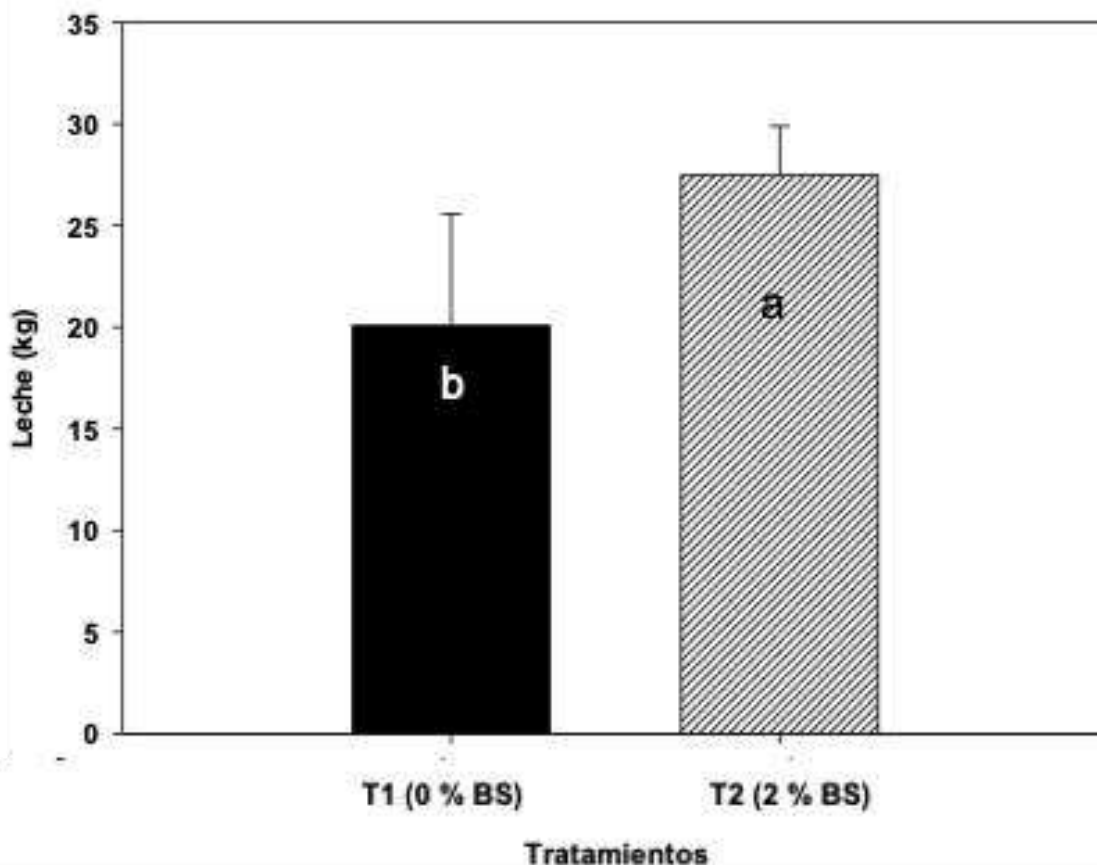
### **Producción de leche**

La producción de leche tuvo una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 1), en donde las vacas que consumieron bentonita (T2) tuvieron un incremento del 36.87 % frente al tratamiento testigo sin bentonita (T1).

Este resultado podría ser atribuido al efecto de la bentonita de proteger a la proteína del ataque de los microorganismos ruminales, garantizando cierta cantidad de proteína sobre pasante ([Gutiérrez et al., 2008](#)). Además, mantiene un equilibrio del pH ruminal durante la fermentación de los almidones ([Suzlberger et al., 2016](#)), y en su estructura posee Ca, el cual es liberado al igual que el amoniaco-NH<sub>3</sub> en forma gradual, permitiendo que los microorganismos ruminales se mantengan en un balance positivo y exista una mayor



producción de ácidos grasos volátiles (AGV's), y aumento de nitrógeno-N total ruminal por la mayor digestibilidad de la proteína bruta cuando se suplementa con bentonita, lo que da como resultado una mayor síntesis de proteína microbiana, especialmente después del pico de concentración de amoníaco-N, proporcionando las condiciones favorables para multiplicación bacteriana (Kholif *et al.*, 2015; Morsy *et al.*, 2016; Gouda *et al.*, 2019), propiciando con ello mayor eficiencia y conversión alimenticia, lo cual se refleja en una mayor producción de leche (Mikolaichik & Morozova, 2009; Amanzougarene & Fondevila, 2022). En este sentido, Yarmots & Yarmots (2018) reportaron que con uso de bentonita se aumenta la digestibilidad de la materia seca en un 1.68 %, la grasa bruta en un 1.52 % y la fibra bruta en un 6.48 %, lo que a su vez aumenta la producción de leche. De igual manera, Mehany & Shams (2019) mencionaron que al suplementar con bentonita a vacas frisonas lactantes con el 2 % de la ingesta de MS como aglutinante de toxinas, obtuvieron un efecto positivo sobre la digestibilidad, fermentación del rumen, algunos parámetros sanguíneos, consumo de alimento, rendimiento, composición de la leche y conversión alimenticia.



Líneas verticales representan desviación estándar. Literales (a, b) significan diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

**Figura 1. Producción de leche (kg) en vacas con inclusión de bentonita de sodio (T1 0 %) y (T2 2 %)**



## Calidad fisicoquímica de la leche

Entre los resultados obtenidos en el presente trabajo se encontró que el pH en leche, no presentó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) (cuadro 1) el cual arrojó una media de 6.6, por lo que este valor se encuentra en el rango normal estimado por la FAO (2011) que va del 6.6 a 6.7, y concuerda con lo reportado por [Briñez et al. \(2002\)](#) y [Valbuena et al. \(2004\)](#) quienes determinaron el pH en distintas marcas de leche industrializada y [Bernal-Martínez et al. \(2007\)](#) que reportaron una media de 6.6 sobre la leche fluida producida en sistemas campesinos de México.

En el caso de la grasa en la leche se obtuvo un valor de  $3.83 \pm 0.41$  para el T2 y  $3.74 \pm 0.25$  para el T1 (cuadro 1) mostrando diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), dichos valores se encuentran dentro del parámetro normal que va de 3 a 4 % indicado por la [FAO \(2021\)](#). Y está por encima de lo reportado por [Doaa et al. \(2021\)](#), quienes obtuvieron un porcentaje de  $3.61 \pm 0.03$  de grasa en la leche al aportar 0.5 % de bentonita cálcica a vacas lecheras. Por otra parte, [Maki et al. \(2016\)](#) obtuvieron un porcentaje de 4.9 % en la grasa con la inclusión de montmorinollita de calcio en la dieta basal de ganado lechero, valor que está por encima del encontrado en este trabajo, pero confirma que se aumenta la cantidad de grasa en leche con el uso de este aditivo.

El incremento de la grasa en la leche puede deberse a que la BS ejerce un efecto tampón controlando la producción de propionato en el rumen mediante la relación acetato: propionato, existiendo una eficiente utilización de AGV's ([Amanzougarene & Fondevila, 2022](#)) y protección de nutrientes los cuales son secuestrados dentro de los poros de la BS ([Gutiérrez et al., 2008](#)), lo que se traduce en una mejora en la calidad de la leche.

La proteína en la leche (Cuadro 1) mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), siendo mayor en el T2 ( $3.06 \pm 0.16$ ), esto podría deberse a que la bentonita ayuda a proteger la proteína ([Gutiérrez et al., 2008](#)) con lo que podría estar impidiendo que las bacterias ruminales degraden los nutrientes de alto valor biológico, convirtiendo a la proteína en un ingrediente de sobrepaso. Al respecto [Yarmots & Yarmots \(2018\)](#), obtuvieron un resultado similar. ( $3.18 \pm 0.04$ ) con la adición diaria de 200 g de bentonita. Por otra parte, [Mehany & Shams \(2019\)](#) reportaron el 2.85 % de proteína con la inclusión del 2 % de bentonita dentro del total del consumo de materia seca.

La lactosa (Cuadro 1) mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) siendo mayor en el T2 ( $4.33 \pm 0.31$ ). El tratamiento con bentonita aumentó el contenido de lactosa de la leche, esto puede ser el resultado de una mejor digestibilidad de los nutrientes (especialmente fibra), una mejor fermentación ruminal y una mayor producción de AGV's ([Kholif et al., 2015](#); [Morsy et al., 2016](#)). Para esta variable [Gouda et al. \(2019\)](#) reportan valores de 4.2



% con la utilización de bentonita y 3.9 % con uso de mortmorinolita en cabras lecheras, valores que son similares al encontrado en este trabajo.

La variable sólidos no grasos (Cuadro 1) mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) favoreciendo al T2 ( $8.05 \pm 0.57$ ), en este sentido [Gouda et al. \(2019\)](#) reportó una concentración de 7.71 % con la inclusión del 2 % de bentonita en la alimentación de cabras, y [Sumantri et al. \(2017\)](#) quienes obtuvieron 8.5 % con la inclusión del 1 % de bentonita en la dieta de vacas Holstein.

**Cuadro 1. Composición fisicoquímica de leche de vacas alimentadas con dietas con y sin adición de bentonita de sodio**

Tratamientos	Variables				
	pH	Proteína (%)	Grasa (%)	Sólidos no grasos (%)	Lactosa (%)
T1(0%)	$6.56 \pm 0.06^a$	$2.92 \pm 0.12^b$	$3.74 \pm 0.25^b$	$7.80 \pm 0.30^b$	$4.16 \pm 0.22^b$
T2 (2%)	$6.56 \pm 0.09^a$	$3.06 \pm 0.16^a$	$3.83 \pm 0.41^a$	$8.05 \pm 0.57^a$	$4.33 \pm 0.31^a$

Literales (a, b) representan diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), ( $\pm$ ) = desviación estándar.

### Variables reproductivas

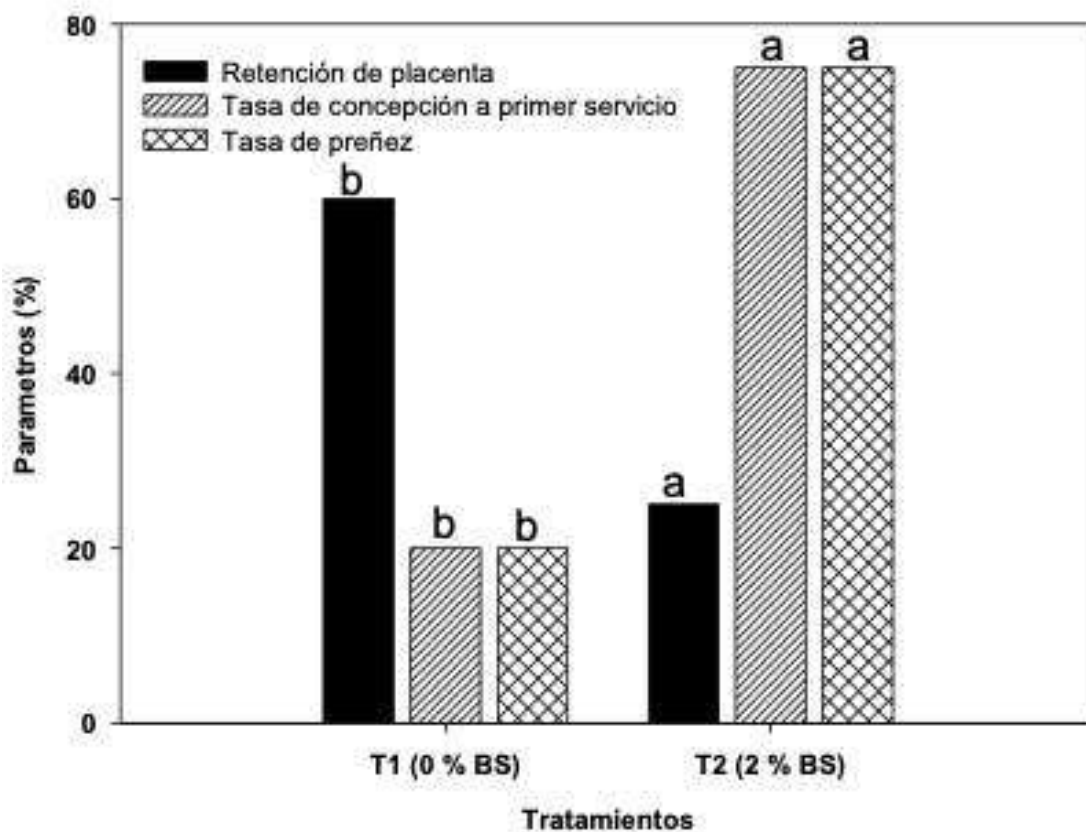
El grupo de vacas al cual le fue suministrado el 2 % de bentonita en la dieta (T2), mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.001$ ) para retención de placenta (25 %) comparadas con las que no recibieron bentonita (T1), que presentaron 60 % de retención placentaria (Figura 2). Existen pocos trabajos donde se evalúan arcillas para determinar sus efectos sobre esta variable, tal es el caso de [Kerwin et al. \(2019\)](#) quienes reportan 3 % de retención de placenta en vacas con la inclusión del 3.3 % de zeolita sintética en la dieta.

Se sabe que la reanudación de la actividad ovárica después del parto es un proceso regulado que involucra el acoplamiento del eje GH/factor de crecimiento en el hígado, desarrollo folicular, esteroidogénesis, y eliminación de la retroalimentación negativa del estradiol a nivel del hipotálamo. Por ello los trastornos metabólicos asociados con energía negativa durante la lactancia temprana retrasa la primera ovulación posparto ([Santos et al., 2016](#)). Por lo tanto el desbalance en la relación energía/proteína de la dieta durante el período de vaca seca provoca alteraciones a nivel del metabolismo intermediario, tales como aumento de los niveles de uremia, cetosis subclínica, donde esta última se hará clínica en el postparto repercutiendo en el funcionamiento hepático, pudiendo provocar infiltración de grasa al hígado y deficiencia del catabolismo de los esteroides sexuales ([Kerwin et al., 2019](#)), siendo esto la consecuencia directa de alteraciones de tipo



reproductivo: retención placenta, endometritis y mastitis, lo que afecta los parámetros reproductivos de los bovinos.

Lo anterior podría ser la razón por la cual, los animales que consumieron bentonita tuvieron un mejor comportamiento en cuanto a esta variable, dado que la bentonita al proteger la proteína del ataque de los microorganismos ruminales y pasar a ser digerida en el intestino delgado ocasiona una mejor asimilación del nutriente. La tasa de concepción al primer servicio mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.001$ ) (Figura 2) donde el 75 % correspondió al T2 contra el 20 % de las vacas cuando no se utiliza bentonita T1. Este resultado probablemente sea consecuencia de la mayor producción de AGV's, generando mayor producción de glucosa por desencadenamiento de propionato, dando como resultado incremento de la producción y liberación de GnRH (Meléndez & Bartolomé, 2017), respaldando de esta forma el efecto que tiene la BS sobre este parámetro previamente mencionado.



Literales (a. b) significan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

**Figura 2. Retención de placenta, tasa de concepción y tasa de preñez de vacas alimentadas con dietas con y sin adición de Bentonita de sodio**



Los servicios por concepción expresaron diferencia significativa ( $p \leq 0.001$ ), registrándose en promedio un servicio por concepción cuando se utiliza bentonita (T2) frente las vacas de T1 que obtuvieron 2 servicios por concepción, observándose así que la BS mejora la salud reproductiva. Mehany & Hegazy (2020) reportaron con la inclusión del 2 % de bentonita dentro de la alimentación de ganado lechero en promedio dos servicios por concepción, contrastando con Karatzia *et al.* (2013) quienes obtuvieron 0.9 servicios por concepción en la adición del 2 % de zeolita Clinoptilolita en la alimentación de ganado lechero.

La tasa de gestación mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.001$ ) donde el 75 % correspondió a la preñez cuando se utiliza bentonita, contra el 20 % de las que tuvieron preñez cuando no se utiliza bentonita (Figura 2), esto se le atribuye a la bentonita mejora la digestibilidad de los carbohidratos crudos, extracto libre de nitrógeno y fibra dando como resultado un aumento en la eficiencia alimenticia (Ivanova *et al.*, 2015). Por otra parte, Kholif *et al.* (2019) reportaron que con la inclusión de probióticos en la dieta basal de ganado de lechero obtuvo un 69 % en la tasa de preñez, valor por debajo de lo encontrado en este trabajo.

## CONCLUSION

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que la Bentonita de sodio es una arcilla que al ser incorporada al 2 % en la dieta de vacas lecheras en el periodo de secado antes del parto y durante la lactancia temprana, en los sistemas de producción semi intensivos en zona de montaña, incrementa la producción, mejora la calidad fisicoquímica de la leche, y favorece los parámetros reproductivos, siendo entonces una opción para mejorar la eficiencia en las unidades de producción.

## LITERATURA CITADA

AKBAR H, Grala TM, Vailati Riboni M, Cardoso FC, Verkerk G, McGowan J, Macdonald K, Webster J, Schutz K, Meier S, Matthews L, Roche JR, Looor JJ. 2015. Body condition score at calving affects systemic and hepatic transcriptome indicators of inflammation and nutrient metabolism in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 98(2): 1019-1032. ISSN 1525-3198. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8584>

AMANZOUGARENE Z, Fondevila M. 2022. Rumen Fermentation of Feed Mixtures Supplemented with Clay Minerals in a Semicontinuous In Vitro System. *Animals*. 12(3): 345-356. ISSN 2076-2615. <http://dx.doi.org/10.3390/ani12030345>



BERNAL - MARTÍNEZ LR, Garduño MDLAR, Fontes CV, Ortega AE, Flores JE, Ortega OAC. 2007. Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México. *Veterinaria México*. 38(4):395-407. ISSN 2448-6760.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42338402>

BERRY DP, Friggens NC, Lucy M, Roche JR. 2016. Milk production and fertility in cattle. *Annual Review of Animal Biosciences*. 4:269-290. ISSN 2165-8110.

<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-animal-021815-111406>

BRÍÑEZ W, Valbuena JE, Castro G, Fuentes F, González D, Tovar A. 2002. Calidad fisicoquímica de las principales marcas de leche pasteurizada consumidas en la ciudad de Maracaibo. *Revista Científica Universidad de Zulia*. 12(3): 221-230. ISSN 0798-2259

<https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14846>

BUTLER W. 2003. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science*. 83(2-3): 211-218. ISSN 0301-6226. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00112-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00112-X)

CÓRDOVA IZQUIERDO A, Espinosa Cervantes R, Peña Betancurt SD, Villa Mancera E A, Huerta Crispín R, Juárez Mosqueda M<sup>a</sup>DL, Gómez Vázquez A, Cansino Arroyo G, Olivares Pérez J, Sánchez Aparicio P. 2017. Efecto de la retención placentaria sobre días abiertos en vacas. *REDVET, Revista Electrónica de Veterinaria*. 18(9):1-4. ISSN: 1695-7504. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63653009055.pdf>

COLPOS (Colegio de Postgraduados). 2016. Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el colegio de postgraduados. México. [https://www.colpos.mx/wb\\_pdf/norma\\_interna/REG\\_USO\\_CUIDADODEANIMALES.pdf](https://www.colpos.mx/wb_pdf/norma_interna/REG_USO_CUIDADODEANIMALES.pdf)

DJOKOVIĆ R, Kurćubić V, Ilić Z, Cincović M, Petrović M, Fratrić N. 2013. Evaluation the metabolic status of transitional dairy cows on the basis changes characteristic blood biochemical indicators. *Lucrări Științifice Medicină Veterinară*. 46(4): 58-65. ISSN 1454-7406. <https://hrcak.srce.hr/file/164857>

DOAA E, Osman A, Soliman S. 2021. Efectos en la producción de leche, composición de leche, digestibilidad y valores nutrimentales con la suplementación de bentonita en vacas Holstein. *Journal of Animal, Poultry and Fish Production*. 10 (1): 21-25. ISSN 2636-2732. <http://dx.doi.org/10.21608/JAPFP.2021.178519>

DRACKLEY JK. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier; *Journal of Dairy Science*. 82:2259-2273. ISSN 1525-3198. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75474-3)



DRACKLEY JK, Overton TR, Douglas GN. 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*. 84 (E.Suppl.): E.100-E112. ISSN1525-3198.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70204-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70204-4)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Codex Alimentarius. Leche y productos lácteos. <https://www.fao.org/3/i2085s/i2085s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Ganado vacuno. <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/cattle/es/>

FOLNOŽIĆ I, Samardžija M, Đuričić D, Vince S, Perkov S, Jelušić S, Valpotić H, Ljubić B, Lojkić M, Gračner D, Žaja I Ž, Maćešić N, Grizelj J, Dobranić T, Redžepi G, Šostar Z, Turk R. 2019. Effects of in-feed clinoptilolite treatment on serum metabolic and antioxidative biomarkers and acute phase response in dairy cows during pregnancy and early lactation. *Research in Veterinary Science*. 127: 57-64. ISSN 0034-5288  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.10.010>

FOLNOŽIĆ I, Turk R, Đuričić D, Vince S, Pleadin J, Flegar–Meštrić Z, Valpotić H, Dobranić T, Gračner D, Samardžija M. 2015. Influence of Body Condition on Serum Metabolic Indicators of Lipid Mobilization and Oxidative Stress in Dairy Cows During the Transition Period. *Reproduction in Domestic Animals*. 50(6): 910-917. ISSN 1439-0531.  
<http://dx.doi.org/10.1111/rda.12608>

GOUDA G A, Khattab H M, Abdel-Wahhab M A, Abo El Nor S A, El-Sayed H M, Kholif S M. 2019. Clay minerals as sorbents for mycotoxins in lactating goats' diets: Intake, digestibility, blood chemistry, ruminal fermentation, milk yield and composition, and milk AFM1 content. *Small Ruminant Research*. 175: 15-22. ISSN 0921-4488.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.04.003>

GUTIÉRREZ O, Galindo J, Oramas A, Cairo J. 2008. Efecto de la suplementación con bentonita y zeolita en la protección de la proteína ruminal. Estudios in vivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 42(3): 255-258. ISSN 2079-3472.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015504005.pdf>

GRUMMER RR, Mashek DG, Hayirli A. 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 20(3):447-70. ISSN 0749-0720. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.013>

HEINRICHS AJ, Rogers GW, Cooper JB. 1992. Predicting Body Weight and Wither Height in Holstein Heifers Using Body Measurements. *Journal of Dairy Science*. 75(12): 3576–3581. ISSN 1525-3198. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(92\)78134-x](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(92)78134-x)



INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Tlatlauquitepec Puebla Clave geoestadística.

[http://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21186.pdf](http://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21186.pdf)

IVANOVA O, Ivanov E, Gordiyenko I. 2015. Expediency of use of bentonite clay in feeding of cows. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*. 18(6): 942-946. ISSN 1311-0489.

<https://jmabonline.com/en/article/Mjr9HbU1g21GfR0mlNq5>

KARATZIA MARIA A, Katsoulos Panagiotis D, Karatzias Harilaos. 2013. Diet supplementation with clinoptilolite improves energy status, reproductive efficiency and increases milk yield in dairy heifers. *Animal Production Science*. 53: 234-239. ISSN 1836-0939. <http://dx.doi.org/10.1071/AN11347>

KERWIN A L, Ryan C M, Leno B M, Jakobsen M, Theilgaard P, Barbano D M, Overton T R. 2019. Effects of feeding synthetic zeolite A during the prepartum period on serum mineral concentration, oxidant status, and performance of multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 102(6):5191-5207. ISSN 1525-3198.

<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2019-16272>

KHOLIF AE, Gouda GA, Morsy TA, Salem AZM, Lopez S, Kholif AM. 2015. Moringa oleifera leaf meal as a protein source in lactating goat's diets: Feed intake, digestibility, ruminal fermentation, milk yield and composition, and its fatty acids profile. *Small Ruminant Research*. 129:129–137. ISSN 0921-4488.

<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.05.007>

La TORRE W. 2001. Métodos de reducción de los días abiertos en bovinos lecheros. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 12(2): 179-184. ISSN 1682-3419

<http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v12n2/a22v12n2.pdf>

MAKI C R, Thomas A D, Elmore S E, Romoser A A, Harvey R B, Ramirez-Ramirez H A, Phillips T D. 2016. Effects of calcium montmorillonite clay and aflatoxin exposure on dry matter intake, milk production, and milk composition. *Journal of Dairy Science*. 99(2): 1039–1046. ISSN 1525-3198.

<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10242>

MEHANY AA, Shams ASE. 2019. Effect of Toxin Binder on Productive Performance of Lactating Friesian Cows. *Journal of Animal and Poultry Production*. 10(12): 405-413. ISSN 2090-3642.

<http://dx.doi.org/10.21608/jappmu.2019.82461>

MEHANY AA, Hegazy MM. 2020. Effect of Toxin Binder Supplemented to Friesian Cows Rations on Stress States and Their Reproductive Performance Under Summer Climatic Conditions in Delta Regio. *Journal of Animal and Poultry Production*. 11(10): 389-397. ISSN 2090-3642.

<http://dx.doi.org/10.21608/jappmu.2020.123618>



MELÉNDEZ P, Marin MP, Robles J, Rios C, Duchens M, Archbald L. 2009. Relationship between serum nonesterified fatty acids at calving and the incidence of periparturient diseases in Holstein dairy cows. *Theriogenology*. 72(6):826-833. ISSN 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.06.001>

MELÉNDEZ P, Donovan GA, Risco CA, Goff JP. 2004. Plasma mineral and energy metabolite concentrations in dairy cows fed an anionic prepartum diet that did or did not have retained fetal membranes after parturition. *American Journal of Veterinary Research*. 65(8):1071-1076. ISSN: 1943-5681. <http://dx.doi.org/10.2460/ajvr.2004.65.1071>

MELÉNDEZ P, Bartolomé J. 2017. Avances sobre nutrición y fertilidad en ganado lechero: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria*. 8(4):407-417. ISSN 2448-6698. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4160>

MIKOLAICHIK IN, Morozova LA. 2009. Biological Basis of Using Bentonite-Based Mineral–Vitamin Premix when Increasing the Milk Yield of Cows. *Russian Agricultural Sciences*. 35(3): 199-201. ISSN 1934-8037. <https://doi.org/10.3103/S1068367409030203>

MORSY TA, Kholif AE, Kholif SM, Kholif AM, Sun X, Salem AZM. 2016. Effects of two enzyme feed additives on digestion and milk production in lactating Egyptian buffaloes. *Annals of Animal Science*. 16(1):209–222. ISSN 2300-8733. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0039>

Nutrición Planificada S.A. de C.V. México. 2024. VOLCLAY® FD-181. <https://nutriplan.com.mx/productos/VOLCLAY-FD-181.html>

NRC (National Research Council). 2001. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington D.C. USA. Pp. 381. ISBN 0309069971.

PETIT H V, Twagiramungu H. 2006. Conception rate and reproductive function of dairy cows fed different fat sources. *Theriogenology*. 66(5): 1316–1324. ISSN 0093-691X. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.04.029>

ROCHA A, Rocha S, Carvalheira J. 2001. Reproductive Parameters and Efficiency of Inseminators in Dairy Farms in Portugal. *Reproduction in Domestic Animals*. 36: 319-324. ISSN 0936-6768. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0531.2001.00309.x>

ROCHE J R, Meier S, Heiser A, Mitchell MD, Walker CG, Crookenden MA, Vailati RM, Loor JJ, Kay JK. 2015. Effects of precalving body condition score and prepartum feeding level on production, reproduction, and health parameters in pasture-based transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 98(10):7164-7182. ISSN 1525-3198. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9269>



SANTOS JEP, Bisinotto RS, Ribeiro ES. 2016. Mechanisms underlying reduced fertility in anovular dairy cows. *Theriogenology*. 86(1): 254-262. ISSN 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.038>

SERWICKA EM, Bahranowski K. 2004. Environmental catalysis by tailored materials derived from layered minerals. *Catal. Today* 90(1-2): 85-92. ISSN 0920-5861. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2004.04.012>

SUMANTRI I, Agus A, Nuryono N, Böhm J, Murti TW. 2017. Effects of bentonite inclusion in naturally aflatoxin contaminated diet on aflatoxin excretion and milk production of Indonesian Friesian Holstein. *Italian Journal of Animal Science*. 16(1): 135. ISSN 1828-051X. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1828051X.2017.1330232>

SULZBERGER SA, Kalebich CC, Melnichenko S, Cardoso FC. 2016. Effects of clay after a grain challenge on milk composition and on ruminal, blood, and fecal pH in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 99(10):8028-8040. ISSN 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11030>

VALBUENA E, Castro G, Lima K, Acosta W, Bríñez W, Tovar A. 2004. Calidad microbiológica de las principales marcas de leche pasteurizada distribuidas en la ciudad de Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica Universidad de Zulia*. 14(1). ISSN: 0798-2259. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95911219009>

YARMOTS GA, Yarmots LP. 2018. Natural sorbents in agricultura. *Advances in Engineering Research*. 151. International Conference on Smart Solutions for Agriculture (Agro-SMART 2018), *Atlantis Press*. 795-801. ISSN 2352-5401. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.149>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



**Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.17>**  
**Artículo Original. Recibido: 15/12/2023. Aceptado:01/05/2024. Publicado: 09/12/2024. Clave: e2023-47.**  
<https://www.youtube.com/watch?v=yGMOBYala9E>

## **Efecto de la oxitetraciclina sobre la nitrificación en sistemas acuapónicos**

Effect of oxytetracycline on nitrification processes in aquaponic systems



**Corbalá-Bermejo Juan<sup>1\*</sup>ID, Martínez-Gómez Daniel<sup>2</sup>ID, López-Téllez Norma<sup>3</sup>ID, Vargas-Magaña Juan<sup>4</sup>ID, Ventura-Cordero Javier<sup>4</sup>ID, Méndez-Ortíz Francisco<sup>4</sup>ID**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Doctorado en Ciencias Agropecuarias, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, México. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera de Lerma. México. <sup>4</sup>Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Agropecuarias. México. \*Autor de correspondencia y responsable: Juan Corbalá-Bermejo. Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Calle 53 S/N entre 20 y 18, Colonia Unidad, Esfuerzo y Trabajo No.2. C.P: 24350, Escárcega, Campeche, México. E-mail: jacorbal@uacam.mx, dmartinez@correo.xoc.uam.mx, norma.lopez@inapesca.gob.mx, jjvargas@uacam.mx, jventura@uacam.mx, famendez@uacam.mx

### **RESUMEN**

Este estudio determinó el efecto de la oxitetraciclina sobre la circulación de amoníaco ( $\text{NH}_3^+$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de recirculación acuapónica, durante un período de 13 semanas. Cada tratamiento consistió en tres unidades acuapónicas con tanques de cría de 100 L de capacidad, con 7 peces cada uno, una bobina hidropónica y un flujo laminar continuo. La circulación de amoníaco ( $\text{NH}_3^+$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) se midió a la entrada y salida de cada subsistema de filtración. En el tratamiento 1 (T1), se proporcionó polvo soluble de oxitetraciclina (400 mg/kg de biomasa), mezclado con el alimento. En el tratamiento 2 (T2) se suministró una alimentación libre de oxitetraciclina. El peso de los peces y el flujo de nutrientes fue analizado mediante la prueba *t*. Al final del experimento, no se detectaron diferencias estadísticas en el peso de la tilapia [T1 (14.01 g) vs. T2 (13.71 g);  $P > 0.05$ ]. El flujo iónico permaneció constante ( $P > 0.05$ ) y no tóxico en ambos tratamientos. El uso de oxitetraciclina aparentemente no comprometió el paquete bacteriológico nitrificante en los biofiltros.

**Palabras clave:** amonio, nitrito, nitrato, antibiótico, bacterias.

### **ABSTRACT**

This study determined the effect of oxytetracycline on the circulation of ammonia ( $\text{NH}_3^+$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in an aquaponic recirculation system, over a period of 13 weeks. Each treatment consisted of three aquaponic units with 100 L capacity rearing tanks, with seven fish each, a hydroponic coil and continuous laminar flow. The circulation of ammonia ( $\text{NH}_3^+$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) and nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), was measured at the inlet and outlet of each filtration subsystem. In treatment 1 (T1), soluble oxytetracycline powder (400 mg/kg of biomass) was provided with the feed. In treatment 2 (T2) an oxytetracycline-free diet was provided. Fish weight and nutrient flow were analyzed using the *t*-test. At the end of the experiment, we detected no statistical differences in tilapia weight [T1 (14.01 g) vs. T2 (13.71 g);  $P > 0.05$ ]. The ionic flux remained



constant ( $P > 0.05$ ) and non-toxic in both treatments. The use of oxytetracycline apparently did not compromise the nitrifying bacteriological package in the biofilters.

**Keywords:** ammonium, nitrite, nitrate, antibiotic, bacteria.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha crecido en los últimos 30 años a una tasa anual del 6% (FAO, 2016). Sin embargo, las técnicas de producción que prevalecen en estos sistemas de producción tienen limitaciones (Tartarotti *et al.*, 2004; Pardo *et al.*, 2006; Urakawa *et al.*, 2006; Wiber *et al.*, 2012). Uno de los problemas más comunes en los sistemas abiertos, es el asociado al cambio de agua para mantener su calidad (Kestemont, 1995). El efecto más documentado de este problema, es el flujo de aguas residuales a los cuerpos de agua (Stokstad, 2010; Konnenrup *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011) además del escape de organismos cultivados (López-Luna *et al.*, 2013), que pueden causar la propagación de plagas y enfermedades (Hameed *et al.*, 2001) y la consecuente contaminación genética de peces silvestres (Mc Ginnity *et al.*, 1997; Naylor *et al.*, 2000; Cognetti *et al.*, 2006; Glover *et al.*, 2011). Además, las comunidades de invertebrados y microorganismos se ven afectados por desinfectantes, residuos antiparasitarios (Burrige *et al.*, 2010) y antibióticos (Rigos *et al.*, 2004) descargados con los efluentes.

En contraste, los sistemas cerrados con descarga mínima de agua (recirculación, acuaponía y biofloc) son bioseguros, ambientalmente sostenibles y altamente productivos (Gutiérrez-Wing & Malone, 2006; Timons & Eveling, 2007; López-Luna *et al.*, 2013). Sin embargo, la rentabilidad de los sistemas de descarga mínima depende de la densidad de reproducción en sistemas de alta densidad, y el estrés asociado a estos sistemas, se relaciona con la aparición de enfermedades (Iguchi *et al.*, 2003), que se controlan mediante el uso de medicamentos terapéuticos, como en cualquier sistema de cría de animales (Chitmanat *et al.*, 2015). Los métodos más comunes para tratar enfermedades bacterianas son los baños de inmersión y la medicación oral (Love *et al.*, 2015). El fármaco más utilizado en la acuicultura es la oxitetraciclina, considerada un antibiótico de amplio espectro para tratar infecciones por *Haemophilus picipuum*, *Aeromonas salmonicida*, *Yersinia ruckeri*, *Vibrio ssp* y *Flexibacter columnaris*. Sin embargo, Brown (2000) sugirió que la oxitetraciclina no se puede utilizar en sistemas de producción que mantienen la calidad del agua utilizando filtros biológicos. Este razonamiento se basa en el hecho de que los biofiltros funcionan a través de una comunidad de bacterias Gram<sup>-</sup> (Gross *et al.*, 2003), que realizan el proceso de nitrificación (Zehr & Ward, 2002; Wang *et al.*, 2014). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la oxitetraciclina sobre la circulación de amoníaco ( $\text{NH}_3^+$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de recirculación acuapónica.



## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del área experimental

El experimento se llevó a cabo, en el Laboratorio Acuícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad de Campeche, ubicado en Escárcega, Campeche, México, en las siguientes coordenadas geográficas: 18°36.021' Latitud N y 90° 44.750' Longitud O. El clima es cálido sub-húmedo con lluvias en verano, subtipo humedad media (Aw1), con una temperatura promedio anual de 26 a 28°C y una precipitación anual de 1200 a 1500 mm al año (INEGI, 2017).

### Unidad acuaponía experimental

Cada unidad acuaponía experimental (Figura, 1) se integró por:

- Subsistema de producción de organismos acuáticos (tanque cilíndrico de 100 L);
- Subsistema filtrante (filtro o clarificador de sólidos de 15 L con grava para retención mecánica de sólidos, biofiltro de 20 L con 120 bolas de bio-pin de 144 pines (13/8 pulgadas de diámetro), y desgasificación de 15 L; y
- Subsistema hidropónico (canales de crecimiento en espiral para plantas elaborado de cloruro de polivinilo de 2.5 pulgadas de diámetro con bomba de 14W para devolver el agua, y aireador genérico de 1/8hp con líneas de conducción.

### Organismo cultivado

Un total de 42 tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con un peso promedio de 2.9 g y una longitud total de 5.6 cm fueron utilizadas. Cada pez fue seleccionado al azar de un lote de 300 de la misma cohorte. Las tilapias fueron pesadas utilizando una balanza electrónica (VE-1000; Científica Vela Quin®, Iztapalapa, Ciudad de México), con ictiómetro, y colocadas en 6 tanques de cría a una densidad de 7 peces/100 L. El material vegetativo utilizado fue albahaca (*Ocimum basilicum*) a razón de 1.9 plantas/tilapia.

### Esquema de alimentación

La alimentación se basó en formulado comercial con 35% de Proteína Cruda (PC). Suministrado 2 veces/día a razón de 13, 10 y 8% de biomasa total (con período de 1 a 4 semanas, 5 a 8 semanas y 9 a 13 semanas, respectivamente).

### Aplicación del fármaco

El fármaco utilizado fue terramicina (clorhidrato de oxitetraciclina 5.5 g) en polvo soluble (400 mg/kg de biomasa). Se determinó aleatoriamente que unidades acuaponías experimentales recibirían el medicamento con el alimento comercial (Figura, 1). Se utilizaron tres réplicas por tratamiento de acuerdo con Ridha (2006). Las tilapias del tratamiento 1 (T1) recibieron alimento medicado con oxitetraciclina (400 mg/kg de biomasa), y las tilapias del tratamiento 2 (T2) recibieron alimento libre de oxitetraciclina.

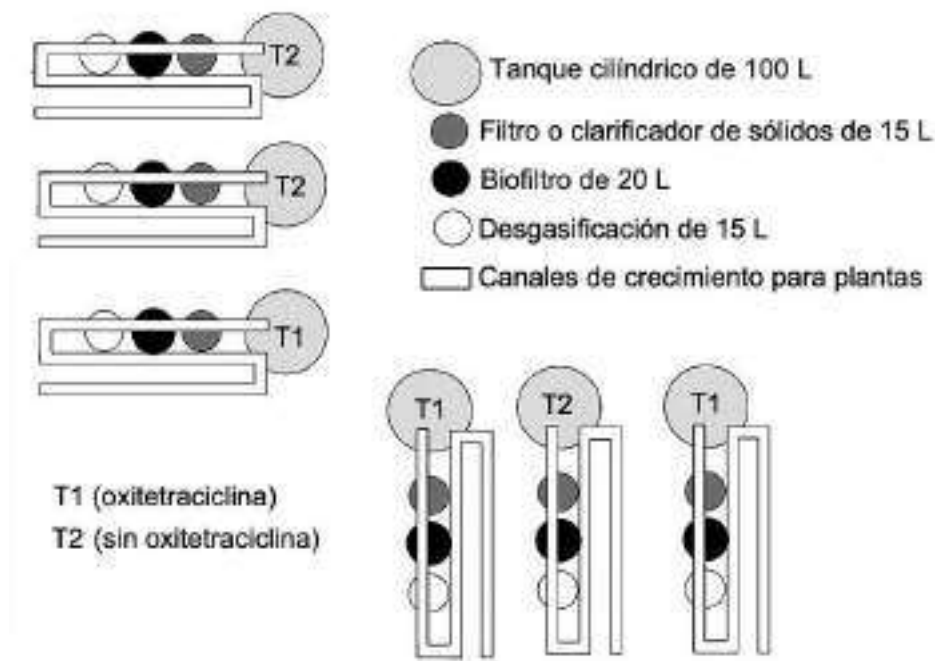


Figura 1. Disposición de unidades acuaponías experimentales

### Parámetros fisicoquímicos del agua

Los factores fisicoquímicos (oxígeno, temperatura y pH) fueron monitoreados diariamente para asegurar la calidad del agua. El oxígeno disuelto y la temperatura se midieron utilizando un oxímetro (HI 9146; HANNA Instruments®, Guadalajara, Jalisco). El pH se cuantificó mediante un potenciómetro (HI 98130; HANNA Instruments., Guadalajara, Jalisco).

### Flujo de iones

Una vez por semana, se tomaron muestras de agua a la entrada y salida del subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental y se midieron los iones  $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  mediante un espectrofotómetro (HI 83099; HANNA Instruments®, Guadalajara, Jalisco).

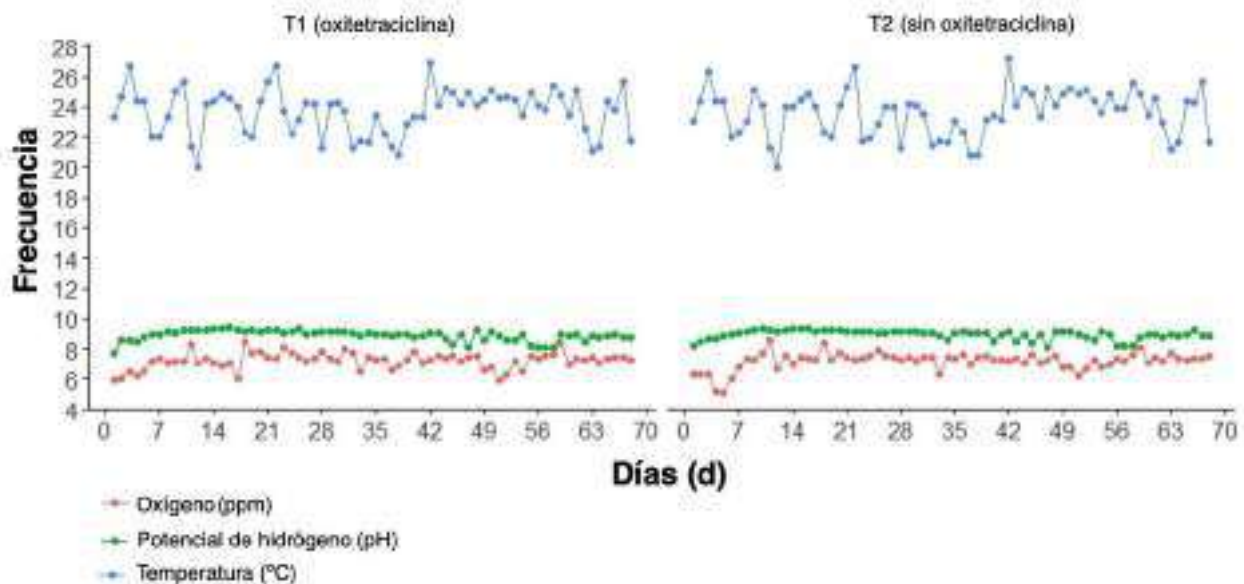
### Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados con el programa estadístico SPSS 18.0 (SPSS Inc., 2009). La homocedasticidad se verificó mediante la prueba de Bartlett y Cochran. La normalidad se comprobó mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Para determinar diferencias en la circulación de  $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  entre los dos tratamientos, una prueba de t para muestras independientes fue utilizada. Se realizaron regresiones logarítmicas utilizando como variable respuesta: el peso corporal de las tilapias.



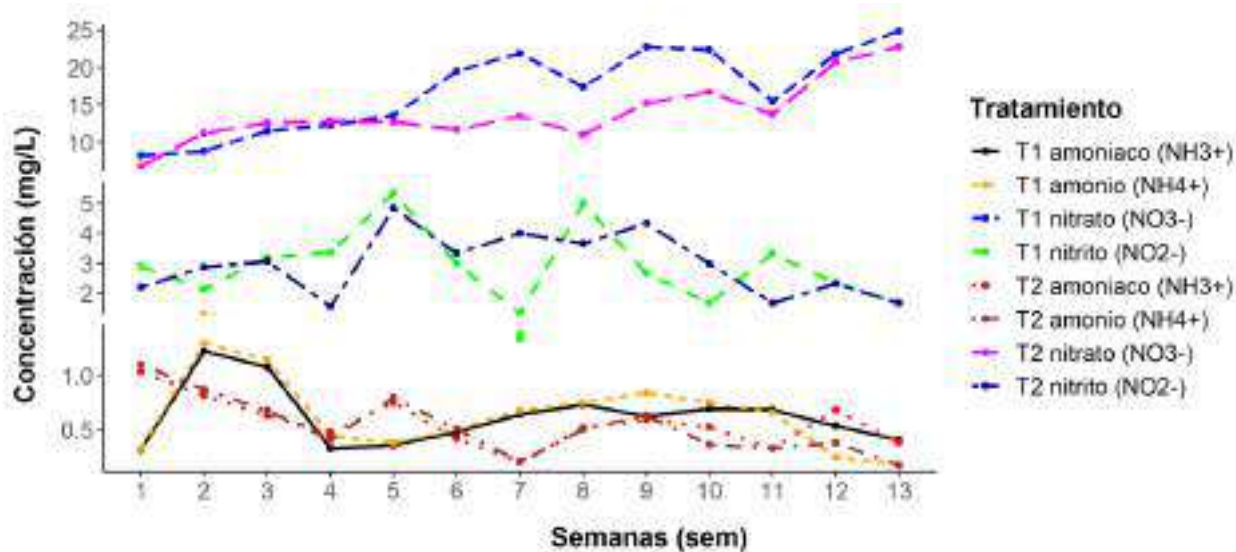
## RESULTADOS

Durante el experimento, las tilapias mostraron un aumento constante en su peso corporal, con una tasa de crecimiento similar entre los grupos. El peso promedio de las tilapias fue en T1 (14.01 g) vs. T2 (13.71 g);  $P > 0.05$ . Se obtuvieron las siguientes ecuaciones T1 [ $y = 3.422e^{1.1158x}$  ( $r^2 = 0.8108$ )] y para T2 [ $y = 3.3088e^{0.113x}$  ( $r^2 = 0.8076$ )]. Esto indica que la adición de oxitetraciclina no influyó sobre el peso corporal. Los valores fisicoquímicos en ambos tratamientos mostraron valores promedio de pH cercanos a 8.9 (intervalo 7.6 - 9.6). En cuanto a la temperatura, ambos tratamientos presentaron un valor promedio cercano a 23.6°C (intervalo, 20 - 27.1°C). Los valores medios de oxígeno disuelto (Figura, 2) fueron [T1: 7.2 ppm (5.4 - 8.5 ppm) vs. T2: 7.1 ppm (5.0 - 8.8 ppm)].



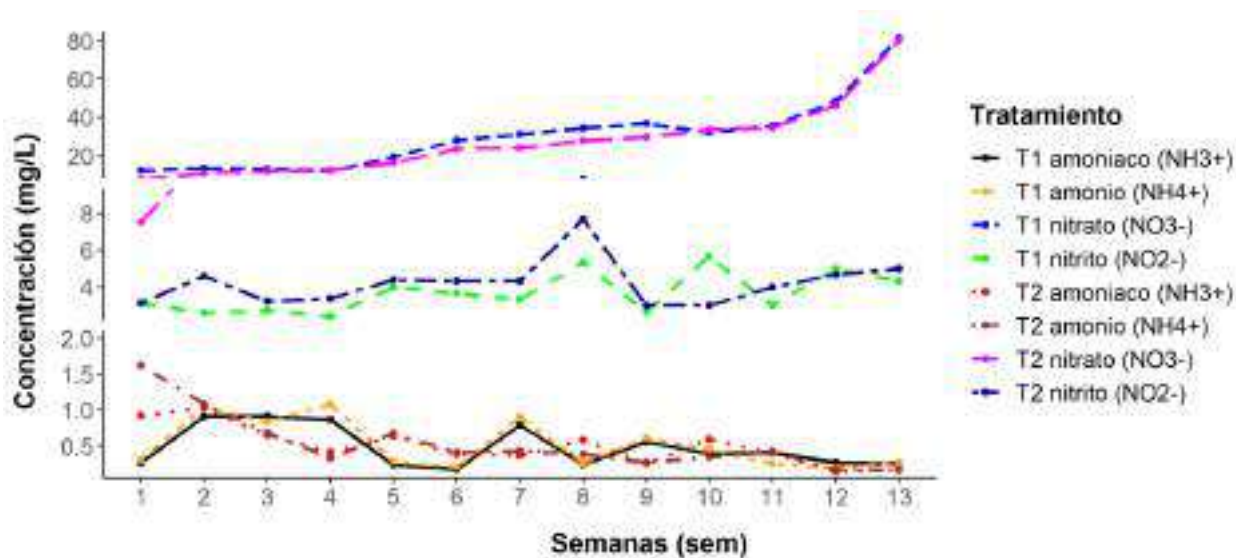
**Figura 2. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en las unidades acuaponías experimentales**

Los valores de  $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  en agua, registrados a la entrada y salida del subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental, mostraron ligeras variaciones entre T1 y T2 (Figuras, 3 y 4, respectivamente). Para la entrada del subsistema, los valores más altos de  $\text{NH}_3^+$  se registraron en el T1 (oxitetraciclina) con un valor de 1.3 mg/L, mientras que el T2 (sin oxitetraciclina) tuvo valores de  $<1.1$  mg/L. Las concentraciones promedio de  $\text{NH}_3^+$  en cada una de las semanas fueron 0.64 y 0.56 mg/L para el T1 y T2, respectivamente. La concentración de  $\text{NH}_4^+$ , más alta se registró para el T1, con un valor promedio de 1.3 mg/L vs. 1.1 mg/L para el T2. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  al comparar los dos tratamientos.



T1= Con oxitetraciclina, T2= Sin oxitetraciclina

**Figura. 3. Circulación iónica de entrada al subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental**



T1= Con oxitetraciclina, T2= Sin oxitetraciclina

**Figura. 4. Circulación iónica de salida del subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental**



## DISCUSIÓN

La tilapia del Nilo es un pez omnívoro ampliamente utilizado en sistemas acuapónicos debido a su tolerancia a factores ambientales y su alta tasa de crecimiento, lo que la hace económicamente rentable (Guerrero-Zepeda, 2014). Sin embargo, su producción no está libre de infecciones, que son controladas principalmente por antibióticos como la oxitetraciclina, que pueden alterar la nitrificación y la productividad del sistema de cultivo de peces. Aquí, se evaluó el uso de oxitetraciclina en el proceso de nitrificación y el cambio de peso vivo de los peces en unidades acuaponías experimentales.

### Crecimiento de los peces

El crecimiento de la tilapia del Nilo es multifactorial, incluyendo la densidad de los peces, la calidad del agua (oxígeno disuelto, pH y temperatura) y los alimentos ofrecidos (FAO 2013). En este estudio, todas las variables mencionadas anteriormente fueron similares para los dos grupos. Además, ambos tratamientos tenían una densidad de albahaca similar. Sin embargo, el crecimiento de tilapias fue bajo en comparación con otros estudios (Rakocy *et al.*, 2006), lo que podría deberse a que la temperatura promedio estaba cerca del límite inferior (23°C) reportado para esta especie. Otro factor crítico que afecta la supervivencia de los peces es el oxígeno disuelto; para la producción de tilapia, tres ppm se consideran como el límite inferior: a concentraciones más bajas, el metabolismo y el crecimiento de los peces disminuyen y la mortalidad aumenta (Guirado-Flores, 2022). En este estudio, los valores de oxígeno disuelto tuvieron un promedio superior al considerado como un límite inferior (siete ppm). Por lo tanto, se podría suponer que la adición de oxitetraciclina no afectó los niveles de oxígeno disuelto o la tasa de crecimiento de los peces.

### Parámetros fisicoquímicos del agua

Los valores máximos y mínimos registrados de pH, temperatura y oxígeno disuelto para ambos tratamientos se mantuvieron dentro de los rangos considerados óptimos para sostener el proceso de nitrificación. EPA (2002) mencionaron como óptimo para el desarrollo de bacterias oxidantes de  $\text{NH}_4^+$  un pH entre 7.0 y 8.0 y para bacterias oxidantes de  $\text{NO}_2^-$  un pH entre 7.5 y 8.0. Según Zornoza-Zornoza *et al.* (2014), la tasa máxima de nitrificación ocurre a pH entre 7.2 y 9.0, y a valores inferiores a 6.5 la velocidad de nitrificación se reduce considerablemente. La temperatura también es un factor determinante para la nitrificación. En condiciones aeróbicas por debajo de 20°C, la actividad enzimática de la oxidación del  $\text{NO}_3^-$  disminuye (Van Rijn, 1996; Gujer, 2010). Para este estudio, la temperatura en promedio se mantuvo por encima de 23°C durante el experimento. La nitrificación es parte del ciclo del nitrógeno (**N**), la disponibilidad de  $\text{NH}_4^+$  y oxígeno son indispensables (Fenchel & Glud, 2000). En este estudio, el nivel de oxígeno disuelto se mantuvo por encima de los valores mínimos requeridos, que se determinaron de acuerdo con la altitud, la temperatura y el flujo de agua. Asimismo, los



valores medios de oxígeno disuelto se mantuvieron por encima de los valores reportados en estudios similares ([Sfetcu et al., 2008](#)), de modo que, el oxígeno fue suficiente para sostener el proceso de nitrificación y mantener las tilapias sin causar anoxia.

### **Flujo de nutrientes**

El flujo de nutrientes no fue diferente entre los tratamientos, sugiriendo la formación de una biopelícula estructural y funcional, incluso con la presencia de oxitetraciclina. En los biofiltros, las bacterias nitrificantes se sumergen en una biopelícula, que es un conjunto de células bacterianas asociadas irreversiblemente a una superficie, rodeadas por una matriz de polisacáridos ([Pandey et al., 2021](#)). La funcionalidad de la comunidad bacteriana en los dos grupos se demostró mediante el análisis de los iones en presencia y ausencia de oxitetraciclina, cuyo efecto antibiótico de amplio espectro aparentemente sólo afectó a las bacterias exógenas a la biopelícula. El proceso de nitrificación no mostró diferencias entre los tratamientos. Este efecto se ha reportado anteriormente por [Johnson \(2008\)](#), quien observó que el desarrollo bacteriano en biopelícula funciona como una estrategia de protección; aumentando la resistencia a los antibióticos, el estrés térmico y la depredación. Las biopelículas microbianas están asociadas con una variedad de infecciones persistentes que responden mal al tratamiento antibiótico convencional. Al aumentar las tasas de mutación por intercambio de genes, las biopelículas en presencia de antibióticos pueden ser un factor en la propagación de rasgos de resistencia a los antibióticos en patógenos ([Fatima et al., 2015](#)). Se requieren más estudios para identificar si existen alteraciones en la comunidad bacteria por la adición de antibióticos.

### **CONCLUSIÓN**

No se observó efecto de la oxitetraciclina sobre el proceso de nitrificación (paquete bacteriológico en biofiltros) en sistemas acuapónicos utilizando tilapia (*Oreochromis niloticus*).

### **AGRADECIMIENTOS**

El proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) en su programa becas de posgrado. Se agradece a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Campeche por las facilidades otorgadas.

### **LITERATURA CITADA**

BROWN L. 2000. Acuicultura para veterinarios: producción y clínica de peces. Editorial Acribia. España. Pp. 460. ISBN: 8420009245.



BURRIDGE L, Weis, JS, Cabello F, Pizarro J, Bostick K. 2010. Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*. 306(1-4):7–23. ISSN: 1873-5622.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>

CHITMANAT C, Pimpimol T, Chaibu P. 2015. Investigation of bacteria and fish pathogenic bacteria found in freshwater aquaponic system. *Journal of Agricultural Science* 7. 11: 254-259. ISSN: 1916-9760. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n11p254>

COGNETTI G, Malatagliati F, Saroglia M. 2006. The risk of “genetic pollution in Mediterranean Fish populations related to aquaculture activities. *Marine pollution bulletin*. 52 (11): 1321-1323. ISSN: 1879-3363. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.09.016>

EPA 2002. National primary drinking water regulations: long term 1 enhanced surface water treatment rule. Final rule. *Federal Register*. 67(9):1811-1844.

[http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=2002\\_register&docid=02-409-filed.pdf](http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=2002_register&docid=02-409-filed.pdf)

FAO. 2013. Agro-acuicultura integrada manual básico. Roma. Pp. 172. ISBN: 925304599X <http://www.fao.org/3/a-y1187s.pdf>

FAO 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. Pp. 224. ISBN 978-92-5-309185-0. <http://naval582.com/pesca/pdf/informe.pesca.fao.pdf>

FATIMA S, Prasanthi K, Nagamani K. 2015. Comparative evaluation of biofilm production in Multidrug resistant and sensitive Gram-negative clinical isolates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 4(6):918-926. ISSN: 2319-7706. <https://www.ijcmas.com/vol-4-6/Sabina%20Fatima,%20et%20al.pdf>

FENCHEL T, Glud RN. 2000. Benthic primary production and O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> dynamics in a shallow-water sediment: spatial and temporal heterogeneity. *Ophelia*. 53(2):159-171. ISSN: 1745-1019. <https://doi.org/10.1080/00785236.2000.10409446>

GLOVER KA, Dahle G, Jorstad KE. 2011. Genetic identification of farmed and wild Atlantic cod, *Gadus morhua*, in costal Norway. *ICES Journal of Marine Science*. 68(5): 901-910. ISSN 1095-9289. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr048>

GUERRERO-ZEPEDA R. 2014. Proyecto acuapónico para comunidades ejidales de Quintana Roo bajo la tutela del estado con directrices de sustentabilidad y productividad. Tesis de Maestría. Universidad de Quintana Roo.

<http://rasisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/63/SH135.G93.2014-1964.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



GUIRADO-FLORES JS. 2022. Efecto de la temperatura de aclimatación en el crecimiento, perfil sanguíneo y composición de ácidos grasos de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis de Maestría en Ciencias de Acuicultura. Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). México. [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3729/1/tesis\\_Jes%  
%20Salvador%20Olivier%20Guirado%20Flores\\_18%20de%20julio%202022.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3729/1/tesis_Jes%c3%bas%20Salvador%20Olivier%20Guirado%20Flores_18%20de%20julio%202022.pdf)

GROSS A, Nemirovsky A, Zilberg D, Khaimov A, Brenner A, Snir E, Ronen Z, Nejdat A. 2003. Soil nitrifying enrichments as biofilter starters in intensive recirculating saline water aquaculture. *Aquaculture*. 223 (1-4): 51–62. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00067-X)

GUJER W. 2010. Nitrification and me - pandeyA subjective review. *Water Research*. 44:1-19. ISSN: 1879-2448. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.08.038>

GUTIÉRREZ-WING MT, Malone FM. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering*. 34 (3):163–171. ISSN: 1873-5614. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.003>

HAMEED AS, Yoganandhan K, Sathish S, Rasheed M, Murugan V, Jayaraman K. 2001. White spot syndrome virus (WSSV) in two species of freshwater crabs (*Paratelphusa hydrodomous* and *P. pulvinata*). *Aquaculture*. 201(3-4):179–186. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00525-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00525-7)

IGUCHI K, Ogawa K, Nagae M, Ito F. 2003. The influence of rearing density on stress response and disease susceptibility of ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Aquaculture*. 220:515–523. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00626-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00626-9)

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2017. Anuario Estadístico y Geográfico de Campeche. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/  
productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825095109.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095109.pdf)

JOHNSON LR. 2008 Microcolony and biofilm formation as a survival strategy for bacteria. *Journal of theoretical biology*. 251 (1): 24-34. ISSN: 0022-5193. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.10.039>

KESTEMONT P. 1995. Different systems of carp production and their impacts on the environment. *Aquaculture* 129:47-372. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00292-V](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00292-V)

KONNENRUP D, Trang NTD, Brix H. 2011. Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*. 313(1-4):57-64. ISSN: 1873-5622. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.026>



LÓPEZ-LUNA J, Ibáñez MA, Villarroel M. 2013. Using multivariate analysis of water quality in RAS Nile tilapia (*Oreochromis niloticus niloticus*) to model the evolution of macronutrients. *Aquacultural Engineering*. 54(1): 22-28. ISSN: 1873-5614.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.10.005>

LOVE D, Fry J, Li X, Hill E, Genello L, Semmens K, Thompson R. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*. 435:67-74. ISSN: 1873-5622.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>

MC GINNITY P, Stone C, Taggart JB, Cooke D, Cotter D, Hynes R, McCamley C, Cross T, Ferguson A. 1997. Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) on native populations: use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed, and hybrid progeny in a natural river environment. *ICES Journal of Marine Science*. 54(6):998-1008. ISSN: 1095-9289.

[https://doi.org/10.1016/S1054-3139\(97\)80004-5](https://doi.org/10.1016/S1054-3139(97)80004-5)

NAYLOR RL, Goldberg RJ, Primavera JH, Kutsky N, Beveridge MC, Clay J, Folke C, Lubchenco J, Mooney H, Troell M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 405(6790):1017- 1024. ISSN: 1476-4687. <https://doi.org/10.1038/35016500>

PANDEY PK, Bharti V. Kumar K. 2021. Biofilm in Aquaculture Production. In: Pandey, P.K., Parhi, J. (eds) *Advances in Fisheries Biotechnology*. Springer, Singapore. ISBN: 978-981-16-3215-0 [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3215-0\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3215-0_23)

PARDO S, Suárez H, Soriano E. 2006. Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba*. 11:20-29. ISSN: 0122-0268. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1041>

RAKOCY JE, Masser MP, Losordo TM. 2006. Recirculating Aquaculture Production System: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication No. 454. Southern Regional Aquaculture Center. USA.

<https://fisheries.tamu.edu/files/2013/10/SRAC-Publication-No.-454-Recirculating-Aquaculture-Tank-Production-Systems-Aquaponics-Integrating-Fish-and-Plant-Culture.pdf>

RIDHA MT. 2006. Comparative study of growth performance of three strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, L. at two stocking densities. *Aquaculture Research*. 37(2):172-179. ISSN: 1365-2109. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01415.x>

RIGOS G, Nengas I, Alexis M, Troisi G.M. 2004. Potential drug (oxytetracycline and oxolinic acid) pollution from Mediterranean sparid fish farms. *Aquatic Toxicology*. 69(3): 281–288. ISSN: 1879-1514. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.05.009>



SFETCU L, Cristea V, Oprea L. 2008. Nutrients dynamic in an aquaponic recirculating system for sturgeon and lettuce (*Lactuca sativa*) production. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*. 41(2):137-137. ISSN: 2344-4576.

[https://spasb.ro/index.php/public\\_html/article/view/2031/1944](https://spasb.ro/index.php/public_html/article/view/2031/1944)

SPSS INC. 2009. PASW Statistics for Windows, version 18.0. Chicago:SPSS Inc.

[https://www.ibm.com/mx-es/products/spss-statistics?utm\\_content=SRCWW&p1=Search&p4=43700077515785537&p5=e&clid=CjwKCAiAvJarBhA1EiwAGgZI0PINp-x8fLaRUtAGObhkOtzPUpN6JOeqwTY8mvp32BDUpmF0rGr5-RoCw1gQAvD\\_BwE&gclid=aw.ds](https://www.ibm.com/mx-es/products/spss-statistics?utm_content=SRCWW&p1=Search&p4=43700077515785537&p5=e&clid=CjwKCAiAvJarBhA1EiwAGgZI0PINp-x8fLaRUtAGObhkOtzPUpN6JOeqwTY8mvp32BDUpmF0rGr5-RoCw1gQAvD_BwE&gclid=aw.ds)

STOKSTAD E. 2010. Down on the Shrimp Farm. *Science*. 328: 1504-1505. ISSN: 1095-9203. <https://doi.org/10.1126/science.328.5985.1504>

TARTAROTTI B, Baffico G, Temporetti P, Zagarese H. 2004. Mycosporine-like amino acids in planktonic organisms living under different UV exposure conditions in Patagonian lakes. *Journal of Plankton Research*. Oxford Univ. 26(7):753-762. ISSN: 1464-3774.

<https://doi.org/10.1093/plankt/fbh073>

TIMONS, M. Eveling, J. 2007. Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. *Ithaca* New York. Pp. 975. ISBN 10: 0971264627.

<https://archive.org/download/recirculatingaquaculture/Recirculating%20Aquaculture.pdf>

URAKAWA H, Murata SH, Fujiwara T, Kuroiwa D, Maki H, Kawabata S, Hiwatari T, Ando H, Kawai T, Watanabe M, Kohata K. 2006. Characterization and quantification of ammonia oxidizing bacteria in eutrophic coastal marine sediments using polyphasic molecular approaches and immunofluorescence staining. *Environmental microbiology*. 8 (5):787–803. ISSN:1462-2920. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00962.x>

VAN RIJN J. 1996. The potential for integrated biological treatment in recirculating fish culture - A review. *Aquaculture*. 139 (3-4):181-201. ISSN: 1873-5622.

[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01151-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01151-X)

WANG J, Zhang C. Rong H. 2014. Analysis and succession of nitrifying bacteria community structure in sequencing biofilm batch reactor. *Applied Microbiology Biotechnology*. 98:4581–4587. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5537-6>

WIBER M. Young S. Wilson L. 2012. Impact of Aquaculture on Commercial Fisheries: Fishermen's Local Ecological Knowledge. *Human Ecology*. 40:29–40. ISSN: 1572-9915.

<https://doi.org/10.1007/s10745-011-9450-7>



ZEHR J, Ward B. 2002. Nitrogen Cycling. In the Ocean: New perspectives on Process and Paradigms. *Applied and environmental microbiology*. 68(3):1015-1024. ISSN: 1098-5336. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.3.1015-1024.2002>

ZHANG S, Li G. Wu H, Liu X, Yao, Y, Tao L, Liu H. 2011. An integrated recirculating aquaculture system, (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. *Aquacultural Engineering*. 45(3):93-102. ISSN: 0144-8609. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.08.001>

ZORNOZA-ZORNOZA A, Avendaño-Villafranca, LM, Borrás-Falomir L, Aguado-García D, Alonso-Molina JL. 2014 Análisis de las correlaciones entre la abundancia de bacterias nitrificantes y los parámetros operacionales y fisicoquímicos relacionados con el proceso biológico de nitrificación en fangos activos. *Tecnoaqua*. 5:2-12. ISSN: 2340-2091. <http://hdl.handle.net/10251/98062>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-9. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.16>

Artículo Original. Recibido: 23/01/2024. Aceptado:20/09/2024. Publicado: 10/08/2024. Clave: e2024-13.

<https://www.youtube.com/watch?v=hXFQ4VvupXk>



## Frecuencia genotípica de la mutación C313Y del gen *GDF8* en ganado Piemontese en México

Genotypic frequency of the C313Y mutation in the *GDF8* gene in Piedmontese cattle in Mexico

Michel-Regalado Néstor\*<sup>1</sup> [ID](#), Ayala-Valdovinos Miguel\*\*<sup>1</sup> [ID](#), Galindo-García Jorge<sup>1</sup> [ID](#), Duifhuis-Rivera Theodor<sup>1</sup> [ID](#), Barreto-Alcalá Rubén<sup>1</sup> [ID](#), Lemus-Flores Clemente<sup>2</sup> [ID](#)

<sup>1</sup>Universidad de Guadalajara. Departamento de Producción Animal, División de Ciencias Veterinarias, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Zapopan, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nayarit. Laboratorio de Genética Molecular. Xalisco, Nayarit, México. \*Autor responsable: Michel-Regalado Néstor. \*\*Autor de correspondencia: Ayala-Valdovinos Miguel, Departamento de Producción Animal, División de Ciencias Veterinarias, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, A.P 218, Zapopan 1, C.P. 45101, Zapopan, Jalisco, México. E-mail: nestor.michel@academicos.udg.mx, manayala@cucba.udg.mx, jorge.galindo@academicos.udg.mx, theodor.duifhuis@academicos.udg.mx, ruben.barreto1676@alumnos.udg.mx, clemus@uan.edu.mx

### RESUMEN

La miostatina es una molécula encargada de regular negativamente el crecimiento muscular; en el gen *GDF8* se han identificado polimorfismos que generan variantes menos funcionales que promueven hiperplasia muscular. En la raza de ganado Piemontese la mutación es ocasionada por una transición de guanina por adenina en la posición 938 del exón 3 del gen, lo que genera una sustitución del aminoácido cisteína por tirosina en la posición 313 de la proteína traducida (C313Y). El objetivo del presente estudio fue estimar la frecuencia genotípica y génica de la mutación C313Y del gen *GDF8* en ganado Piemontese de México mediante la técnica de PCR-RFLP. Para este estudio se genotificaron 166 bovinos raza Piemontese pertenecientes a unidades de producción ubicadas en el estado de Jalisco. Las frecuencias genotípicas encontradas fueron 0.976 y 0.024 para los genotipos homocigótico mutante y heterocigótico, respectivamente. No se encontraron individuos con el genotipo homocigótico silvestre. La frecuencia génica del alelo mutante fue 0.988, lo cual confirma la alta frecuencia de la mutación en los ejemplares de esta raza. Este es el primer reporte donde se describe de manera preliminar la frecuencia de la mutación C313Y en poblaciones de ganado Piemontese en México.

**Palabras clave:** miostatina, PCR-RFLP, doble musculatura.

### ABSTRACT

Myostatin is a molecule responsible for negatively regulating muscle growth. Polymorphisms have been identified in the *GDF8* gene that generate less functional variants that promote muscle hyperplasia. In the Piedmontese cattle breed, the mutation is caused by a guanine to adenine transition at position 938 of exon 3 of the gene, which generates a substitution of the amino acid cysteine for tyrosine at position 313 of the translated protein (C313Y). The objective of the present study was to estimate the genotypic and gene frequencies of the C313Y mutation of the *GDF8* gene in Piedmontese cattle in Mexico using the PCR-RFLP method. For this study, 166 Piedmontese cattle belonging to herds located in the state of Jalisco were genotyped. The genotypic frequencies were 0.976 and 0.024 for the homozygous mutant and heterozygous genotypes, respectively. No individuals with the wild homozygous genotype were found. The allelic frequency of the mutant allele was 0.988, which confirms the high frequency of the mutation in this breed. To date, this is the first report where the frequency of the C313Y mutation is preliminarily described in populations of Piedmontese cattle in Mexico.

**Keywords:** myostatin, PCR, double muscled.



## INTRODUCCIÓN

El ganado Piemontese es una raza de bovino originaria de Italia, especializada en la producción de carne caracterizada por presentar una condición de hipertrofia muscular, comúnmente conocida como “doble musculatura” (Moioli *et al.*, 2004). Esta condición es ocasionada por una mutación en el gen *GDF8* (Factor de crecimiento y diferenciación 8) también conocido como gen de la miostatina (MSTN) (Bongiorni *et al.*, 2016). Mutaciones en el gen MSTN se han descrito en distintas especies como cabras, ovejas, cerdos, equinos, perros, ratas, humanos (Schuelke *et al.*, 2004; Saunders *et al.*, 2006; François *et al.*, 2016; Gu *et al.*, 2016; Nisztuk *et al.*, 2018; Grochowska *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020; Bi *et al.*, 2021; Pira *et al.*, 2021) y en diferentes razas de ganado bovino (Hales *et al.*, 2020; Haruna *et al.*, 2020; Gaina & Amalo 2022; Meyermans *et al.*, 2022). La miostatina es una molécula encargada de regular negativamente el crecimiento muscular, la cual se activa a través de una serie de modificaciones postraduccionales que inician la vía de señalización de diversos factores de transcripción *Smad* (*Smads*, *Smad 2*, *Smad 3*), los cuáles regulan la expresión de genes miogénicos específicos. La unión de la proteína con su receptor además inhibe la actividad de la proteína cinasa B, molécula que favorece la proliferación de las células musculares (Aiello *et al.*, 2018). La mutación en la raza de ganado Piemontese es ocasionada por una transición de una guanina por adenina en la posición 938 del exón 3 del gen (Kambadur *et al.*, 1997), lo que genera una sustitución del aminoácido cisteína por tirosina en la posición 313 de la proteína traducida (C313Y), por lo que esta sustitución elimina uno de los cuatro enlaces disulfuro entre los residuos 313-374 del nudo de cisteína (Bongiorni *et al.*, 2016). La ausencia de la cisteína resulta en una pérdida completa o casi completa de la función de la proteína, según se ha observado en cultivos celulares de mioblastos en crecimiento (Berry *et al.*, 2002). Algunos estudios han reportado una alta frecuencia del alelo mutante (*mh*) en diferentes poblaciones de ganado Piemontese, no obstante, persisten algunos animales portadores del alelo silvestre (+) en condiciones de heterocigosis y homocigosis (Bongiorni *et al.*, 2003; Albera, 2005; Pozzi *et al.*, 2009). El alelo mutante en el ganado Piemontese ha sido asociado con algunas características organolépticas como mayor suavidad o ternura en la carne, mayor facilidad de fragmentación, así como menor contenido de hueso, tejido conectivo y grasa en la carne (Wheeler *et al.*, 2001), por lo que estas características y la alta frecuencia de este alelo facilitan realizar un proceso de selección asistida a favor de esta mutación a través del uso de técnicas de biotecnología como la reacción en cadena de la polimerasa mediante fragmentos de restricción de longitud polimórfica (PCR-RFLP), asimismo, por medio de esta técnica es posible amplificar un fragmento de ADN que contiene la mutación e identificar a los animales portadores (Di Stasio & Rolando, 2005). El objetivo del presente estudio fue estimar la frecuencia genotípica y génica de la mutación C313Y del gen *GDF8* en ganado Piemontese de México mediante la técnica de PCR-RFLP.



## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El trabajo se efectuó en las instalaciones del Instituto de Biotecnología Animal, del Departamento de Producción Animal, de la División de Ciencias Veterinarias, del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. El estudio fue aprobado por el Reglamento Interno de Bioética del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México (Aprobación No. CC/NN11-12/00/2012).

### Poblaciones y muestreo

Para este estudio se incluyeron 166 bovinos pertenecientes a unidades de producción agremiadas a la Asociación Mexicana de Criadores de Razas Italianas, ubicadas en el estado de Jalisco. Se colectaron aproximadamente 3 ml de sangre periférica de cada animal en tubos vacutainer® con EDTA, previa desinfección del área anatómica respectiva; se extrajo la muestra por medio de punción en la vena caudal, se identificó cada tubo y se mantuvieron en refrigeración durante su transporte al laboratorio.

### Obtención de ADN y genotipificación

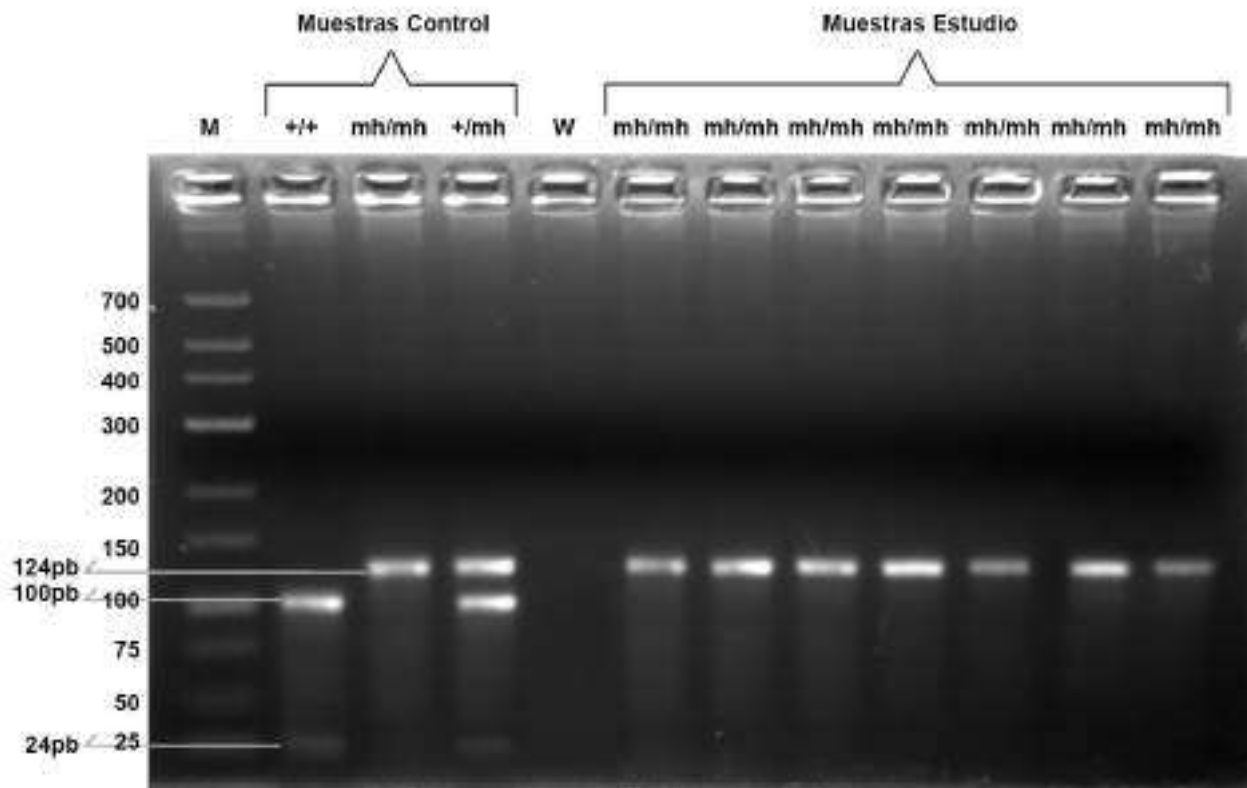
Para la extracción del ADN se utilizó un kit universal (Quick-DNA; Zymo Research). Para la amplificación del fragmento que contiene la mutación C313Y se utilizaron los primers F-CCAATTACTGCTCTGGAGGAT- y R-GGAGACATCTTTGTAGGAGTACAGC- descritos por [Di Stasio & Rolando \(2005\)](#), los cuales amplifican un fragmento de 124 pb. Para realizar las pruebas de PCR se utilizó un kit (DreamTaq; Thermo Scientific) con un volumen de reacción de 20 µl, contenía ~100 ng de lisado de DNA sanguíneo, 2 µl de buffer de PCR 1 x con 20 mM MgCl<sub>2</sub>, 1 µl de 10 mM dNTP mix, 0.5 µl de DNA polimerasa, 5 pmol de ambos primers y el volumen restante de agua bidestilada. La amplificación del fragmento del gen *GDF8* fue realizada en un termociclador (TC-5000; Techne) con el siguiente programa de PCR: desnaturalización inicial por 5 mins a 95°C, seguido de 35 ciclos de 94°C por 30 s, 54°C por 30 s, 72°C por 30 s, y una extensión final a 72°C por 5 mins. Posterior a la amplificación se utilizó la enzima de restricción *BtsCI* de acuerdo con el protocolo recomendado por el fabricante (New England Biolabs). El fragmento digerido fue analizado por medio de una electroforesis en gel de agarosa al 4 % teñido con un agente intercalante (GelRed; Biotium) y visualizado bajo luz ultravioleta.

### Estimación de frecuencias genotípicas y génicas para cada alelo

La estimación de frecuencias genotípicas y génicas para cada alelo se realizó mediante la aplicación del método de conteo directo descrito por [Nei \(1987\)](#).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la técnica de PCR-RFLP fue posible genotipificar a los 166 animales muestreados. Los bovinos homocigóticos (*mh/mh*) para la mutación mostraron la presencia de una banda sin digerir correspondiente a un tamaño de 124 pb. En los animales heterocigóticos (*+/mh*), los fragmentos resultantes posteriores a la digestión enzimática fueron de 24 pb y 100 pb para el alelo silvestre y un fragmento sin digerir de 124 pb para el alelo mutante. En el estudio no se encontraron animales con el genotipo homocigótico silvestre (*+/+*), solamente en las muestras control, las cuales mostraron fragmentos de 24 pb y 100 pb (Figura 1). Las frecuencias genotípicas y génicas se presentan en la Tabla 1.



**Figura 1. Electroforesis en gel de agarosa de PCR-RFLP de la variante C313Y del gen de la miostatina de bovinos Piemontese.** *+/+*: homocigótico silvestre; *mh/mh*: homocigótico mutante; *+/mh*: heterocigótico; M: marcador molecular (25 pb, Thermo Fisher Scientific); W: blanco de reacción. Las flechas indican los tamaños de los fragmentos de restricción.



**Tabla 1. Frecuencias genotípicas y génicas de la mutación C313Y del gen *GDF8***

Genotipo	No. de animales	Frecuencia genotípica	Alelos	Frecuencia génica
<i>mh/mh</i>	162	0.976	<i>mh</i>	0.988
<i>mh/+</i>	4	0.024	+	0.012
+/+	0	0		
Total	166			

Las frecuencias genotípicas aquí encontradas fueron 0.976 y 0.024 para los homocigótico mutante (*mh/mh*) y heterocigótico (*mh/+*), respectivamente, mientras que el genotipo homocigótico silvestre (+/+) estuvo ausente. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Bongioni (2003) y Albera (2005) en poblaciones de bovinos en Italia, donde encontraron frecuencias de 0.972 y 0.960 para el genotipo homocigótico mutante y frecuencias de 0.027 y 0.039 para el genotipo heterocigótico, respectivamente; en ambos estudios no se encontraron animales homocigóticos silvestres. Lo anterior es posible como resultado de una constante presión de selección que se ha dado en estas poblaciones, en donde han excluido a todos los animales que no posean cuando menos un alelo de la mutación. En otro estudio, realizado por Pozzi *et al.* (2009) se genotipificaron muestras de carne de bovinos Piemontese procedentes de expendios con certificación de origen por COALVI (Consorzio di tutela della Razza Piemontese), de las cuales se encontraron las frecuencias de 0.942, 0.048 y 0.01 para los genotipos homocigótico mutante, heterocigótico y homocigótico silvestre, respectivamente; lo que refleja que, si bien la frecuencia génica de la mutación es alta, al igual que lo encontrado en este estudio (0.988), aún hay presencia del alelo silvestre (0.012). Esto puede deberse a que los animales heterocigóticos muestran también el fenotipo de la “doble musculatura”, situación que dificulta su discriminación bajo criterios de selección fenotípica/morfométrica, lo que genera que existan animales que poseen la hiperplasia muscular pero que a su vez tienen un 50% de probabilidad de heredar la variante silvestre a su progenie. Por ello, actualmente las asociaciones de criadores en distintos países como la Asociación de Piemontese de los Estados Unidos (PAUS), la Asociación Norteamericana de Piemontese (NAPA) y la Asociación Nacional de Criadores de la Raza Bovina Piemontese (ANABORAPI) de Italia, realizan estudios de genotipificación a todos los animales cuyo registro sea solicitado, en los libros genealógicos de la raza y se excluye del registro a los animales no homocigotos a la mutación, esto con el propósito de fijar la mutación en todos los ejemplares. Por lo anterior, es importante realizar la genotipificación de manera obligatoria en cada animal que será inscrito en los libros genealógicos de las asociaciones de criadores, con el fin de formar poblaciones de la raza Piemontese completamente homogéneas al polimorfismo C313Y, con un 100% de probabilidades de heredar la mutación a su descendencia. Previo a este estudio, no existen reportes que describan la frecuencia de la mutación en poblaciones de ganado Piemontese en México, aunque la Asociación de Criadores de Razas Italianas de México no considera obligatorio el genotipado de los animales que serán inscritos en su libro genealógico, la alta frecuencia de la mutación encontrada en el presente estudio, puede



ser el resultado del uso de material genético (semen o embriones) importado de países en donde si se realicen las pruebas de genotipificación para identificar la mutación y realizar selección asistida a favor de ésta. La técnica de PCR-RFLP representa una metodología confiable, rápida, económica y de fácil acceso que contribuiría a la identificación de animales homocigotos o heterocigotos con doble musculatura en una etapa temprana de la vida, lo que podría ser de utilidad a los criadores para planificar los empadres de sus hatos con base en la inclusión de las pruebas para la genotipificación de la mutación C313Y (Wakchaure *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

En el presente estudio fue posible genotipificar a los 166 bovinos Piemontese incluidos mediante la técnica de PCR-RFLP. Las frecuencias genotípicas encontradas fueron 0.976 y 0.024 para los genotipos homocigótico mutante y heterocigótico, respectivamente. No se encontraron animales con el genotipo homocigótico silvestre. La frecuencia génica del alelo mutante fue 0.988, lo cual indica la alta frecuencia de la mutación en los ejemplares de la raza. Este es el primer reporte donde se describe, de manera preliminar, la frecuencia del marcador molecular C313Y en poblaciones de ganado bovino Piemontese en México.

## Agradecimientos

Agradecemos el apoyo a la Asociación Mexicana de Criadores de Razas Italianas y sus agremiados, por facilitar las muestras del estudio. Este estudio fue financiado en su totalidad por la Universidad de Guadalajara a través del proyecto P3E-270377

## LITERATURA CITADA

AIELLO D, Patel K, Lasagna E. 2018. The myostatin gene: an overview of mechanisms of action and its relevance to livestock animals. *Animal Genetics*. 49(6):505-519. ISSN: 1365-2052. <https://doi.org/10.1111/age.12696>

ALBERA A. 2005. Risultati dello studio sulla Miostatina. Razza Piemontese. *Associazione Nazionale Allevatori Bovini di Razza Piemontese*. 36(1):3-4.

BERRY C, Thomas M, Langley B, Sharma M, Kambadur R. 2002. Single cysteine to tyrosine transition inactivates the growth inhibitory function of Piedmontese myostatin. *American Journal Physiology Cell Physiology*. 283(1):135-141. ISSN:0363-6143. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00458.2001>

BI Y, He L, Feng B, Lan X, Song X, Qu L, Pan C. 2021. A 5-bp mutation within MSTN/GDF8 gene was significantly associated with growth traits in Inner Mongolia White Cashmere goats. *Animal Biotechnology*. 32(5):610-615. ISSN:1532-2378. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1736088>



BONGIONI G, Pozzi A, Galli A. 2003. Genotyping of the Double-Muscling Locus (mh) in Piemontese cattle. *Book of Abstract of the 54th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*. Roma, Italia. Pp. 96.

BONGIORNI S, Valentini A, Chillemi G. 2016. Structural and Dynamic Characterization of the C313Y Mutation in Myostatin Dimeric Protein, Responsible for the "Double Muscle" Phenotype in Piedmontese Cattle. *Frontiers in Genetics*. 7:14. ISSN:1664-8021. <https://doi.org/10.3389/fgene.2016.00014>

DI STASIO L, Rolando A. 2005. A PCR-RFLP method for genotyping the myostatin locus in Piemontese cattle. *Animal Genetics*. 36(6):521. ISSN:1365-2052. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2005.01356.x>

FRANÇOIS L, Jäderkvist FK, Eriksson S, Andersson LS, Tesfayonas YG, Viluma A, Imsland F, Buys N, Mikko S, Lindgren G, Velie BD. 2016. Conformation traits and gaits in the Icelandic horse are associated with genetic variants in Myostatin (MSTN). *Journal of Heredity*. 107(5):431-437. ISSN:1465-7333. <https://doi.org/10.1093/jhered/esw031>

GAINA CD, Amalo FA. 2022. Genetic polymorphism of myostatin gene in Sumba Ongole (*Bos indicus*) cattle and its association with growth traits. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 9(4):565-572. ISSN:2311-7710. <http://doi.org/10.5455/javar.2022.i625>

GU H, Cao Y, Qiu B, Zhou Z, Deng R, Chen Z, Li R, Li X, Wei Q, Xia X, Yong W. 2016. Establishment and phenotypic analysis of an Mstn knockout rat. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 477(1):115-122. ISSN:1090-2104. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.06.030>

GROCHOWSKA E, Borys B, Lisiak D, Mroczkowski S. 2019. Genotypic and allelic effects of the myostatin gene (MSTN) on carcass, meat quality, and biometric traits in Colored Polish Merino sheep. *Meat Science*. 151:4-17. ISSN:1873-4138. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.010>

HALES KE, Tait JRG, Lindholm-Perry AK, Cushman RA, Freetly HC, Brown-Brandl TM, Bennett GL. 2020. Effects of the F94L Limousin associated myostatin gene marker on metabolic index in growing beef heifers. *Applied Animal Science*. 36(6):851-856. ISSN: 2590-2865. <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02046>



HARUNA IL, Ekegbu UJ, Ullah F, Amirpour-Najafabadi H, Zhou H, Hickford JG. 2020. Genetic variations and haplotypic diversity in the Myostatin gene of New Zealand cattle breeds. *Gene*. 740:e144400. ISSN:1879-0038.

<https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.144400>

KAMBADUR R, Sharma M, Smith TP, Bass JJ. 1997. Mutations in myostatin (GDF8) in double-musled Belgian Blue and Piedmontese cattle. *Genome Research*. 7(9):910-916. ISSN:1549-5469. <https://doi.org/10.1101/gr.7.9.910>

LI W, Li R, Wei Y, Meng X, Wang B, Zhang Z, Wu W, Liu H. 2020. Effect of MSTN mutation on growth and carcass performance in Duroc × Meishan hybrid population. *Animals*. 10(6):932. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10060932>

MEYERMANS R, Janssens S, Coussé A, Gorssen W, Hubin X, Mayeres P, Veulemans W, Claerebout E, Charlier C, Buys N. 2022. Myostatin mutation causing double muscling could affect increased psoroptic mange sensitivity in dual purpose Belgian Blue cattle. *Animal*. 16(3):100460. ISSN:1751-732X.

<https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100460>

MOIOLI B, Napolitano F, Catillo G. 2004. Genetic diversity between Piedmontese, Maremmana, and Podolica cattle breeds. *Journal of Heredity*. 95(3):250-256. ISSN: 0022-1503. <https://doi.org/10.1093/jhered/esh032>

NEI M. 1987. Molecular evolutionary genetics. New York Chichester, West Sussex: *Columbia University Press*. Pp. 327. ISBN: 9780231886710. <https://doi.org/10.7312/nei-92038>

NISZTUK S, Ślaska B, Zięba G, Rozempolska-Rucińska I. 2018. Association of MSTN gene polymorphism (C354T) with performance traits in raccoon dogs. *Canadian Journal of Animal Science*. 98(2):341-346. ISSN:1918-1825. <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0070>

PIRA E, Vacca GM, Dettori ML, Piras G, Moro M, Paschino P, Pazzola M. 2021. Polymorphisms at myostatin gene (MSTN) and the associations with sport performances in Anglo-Arabian racehorses. *Animals*. 11(4):964. ISSN:2076-2615.

<https://doi.org/10.3390/ani11040964>

POZZI A, Bongioni G, Galli A. 2009. Comparison of three PCR-based methods to detect a Piedmontese cattle point mutation in the Myostatin gene. *Animal*. 3(6):773-778. ISSN: 1751-7311. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004121>



SAUNDERS MA, Good JM, Lawrence EC, Ferrell RE, Li WH, Nachman MW. 2006. Human adaptive evolution at Myostatin (GDF8), a regulator of muscle growth. *The American Journal of Human Genetics*. 79(6):1089-1097. ISSN:1537-6605.

<https://doi.org/10.1086/509707>

SCHUELKE M, Wagner KR, Stolz LE, Hübner C, Riebel T, Kömen W, Braun T, Tobin JF, Lee SJ. (2004). Myostatin mutation associated with gross muscle hypertrophy in a child. *New England Journal of Medicine*. 350(26):2682-2688. ISSN:1533-4406.

<https://doi.org/10.1056/NEJMoa040933>

WAKCHAURE R, Ganguly S, Praveen P, Kumar A, Sharma S, Mahajan T. 2015. Marker assisted selection (MAS) in animal breeding: a review. *Journal of Drug Metabolism and Toxicology*. 6(5): e127. ISSN:2157-7609. <https://doi.org/10.4172/2157-7609.1000e127>

WHEELER TL, Shackelford SD, Casas E, Cundiff LV, Koohmaraie M. 2001. The effects of Piedmontese inheritance and myostatin genotype on the palatability of longissimus thoracis, gluteus medius, semimembranosus, and biceps femoris. *Journal of Animal Science*. 79(12):3069-3074. ISSN: 0021-8812. <https://doi.org/10.2527/2001.79123069x>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



**Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.12>**

**Revisión de Literatura. Recibido: 09/10/2023. Aceptado:13/07/2024. Publicado: 19/07/2024. Clave: e2023-36.**

**<https://www.youtube.com/watch?v=Vk3Ulymx5Hg>**

## **Aceites esenciales y sus constituyentes para hacer frente a las bacterias patógenas**

Essential oils and their constituents in coping with pathogenic bacteria



**Mares-Jiménez Andrea<sup>\*1</sup>  ID, Prado-Rebolledo Omar<sup>2</sup>  ID, Hernández-Rivera Juan<sup>2</sup>  ID, Mendoza-Muñoz Néstor<sup>3</sup>  ID, García-Casillas Arturo<sup>\*\*2</sup>  ID**

<sup>1</sup>Universidad de Colima, Estudiante de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, Colima, México. <sup>2</sup>Universidad de Colima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Colima, México. <sup>3</sup>Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Químicas, Colima, México. \*Autor responsable: Mares-Jiménez Andrea. \*\*Autor de correspondencia: García-Casillas Arturo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima. Kilómetro 40 Carretera Colima-Manzanillo, S/N, Tecomán, Colima, México. CP 28100. E-mail: amares@ucol.mx, omarpr@ucol.mx, jhernandez2@ucol.mx, nmendoza0@ucol.mx, cesargarciasillas@hotmail.com

### **RESUMEN**

Los aceites esenciales son pequeñas gotas intercelulares, cuyos constituyentes son ésteres, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, terpenos, terpenoides, cetonas, ácidos, y aldehídos. Su potencial como antimicrobianos naturales depende de la composición química del aceite, y de las estructuras bacterianas Gram<sup>+</sup> y Gram<sup>-</sup>. Por lo tanto, esta revisión considera la comprensión química de los aceites esenciales, y continúa con la interpretación de las principales estructuras bacterianas. Al final se presenta información sobre el efecto de los aceites esenciales en el ensamblaje de lípidos en la pared celular bacteriana, la fuga de iones, la desnaturalización de proteínas celulares, el escape de material citoplásmico, la alteración de la cadena respiratoria y finalmente la lisis bacteriana.

**Palabras clave:** terpenos, terpenoides, polifenoles, fenilpropenos, flavonoides, lipopolisacárido, peptidoglicano.

### **ABSTRACT**

Essential oils are small intercellular droplets, whose constituents are esters, alcohols, aromatic hydrocarbons, terpenes, terpenoids, ketones, acids, and aldehydes. Their potential as natural antimicrobials depend on the chemical composition of the oil, and the Gram<sup>+</sup> and Gram<sup>-</sup> bacterial structures. Therefore, this review considers the chemical understanding of essential oils, and continues with the interpretation of the main bacterial structures. At the end, information is presented on the effect of essential oils on the assembly of lipids in the bacterial cell wall, ion leakage, denaturation of cellular proteins, escape of cytoplasmic material, alteration of the respiratory chain and finally lysis.

**Keywords:** terpenes, terpenoids, polyphenols, phenylpropenes, flavonoids, lipopolysaccharide, peptidoglycan.



## ABREVIATURAS

AE	Aceites Esenciales	H <sup>+</sup>	hidrógeno
ATP	trifosfato de adenosina	K <sup>+</sup>	potasio
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	isopreno	LPS	lipopolisacárido
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>5</sub>	glucosamina	MurNAc	N-acetilmurámico
CH <sub>3</sub>	grupo metilo	N <sup>2</sup>	nitrógeno
CO-NH	enlace peptídico	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	dioxígeno
COO-CH	enlace éster	-OH	grupo hidroxilo
-COOH	grupo carboxilo	UV	ultravioleta
GlcNac	N-acetil-β-D-glucosamina		

## INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, la industria alimentaria ha utilizado productos químicos para inhibir el crecimiento de microorganismos (Davidson *et al.*, 2012); sin embargo, pueden tener un efecto perjudicial sobre las características organolépticas y sensoriales de algunos alimentos (Mahmud & Khan, 2018). Los Aceites Esenciales (AE) son metabolitos secundarios extraídos de las plantas (Falleh *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2021). Gracias a su actividad farmacológica y a su viabilidad económica, su aceptación como antimicrobianos naturales por los consumidores va en aumento (Angane *et al.*, 2022). Gavahian *et al.* (2020) señalaron que los AE son pequeñas gotas intercelulares, formadas en el citoplasma eucarionte vegetal. Comprenden compuestos como ésteres, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, terpenos, terpenoides, cetonas, ácidos, y aldehídos (Santos *et al.*, 2022). Extraídos principalmente de: i) eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Mieres *et al.*, 2021), ii) clavo (*Syzygium aromaticum*) (Haro *et al.*, 2021), iii) limón (*Citrus limon*) (Singh *et al.*, 2021), iv) romero (*Salvia rosmarinus*) (de Macedo *et al.*, 2020), v) orégano (*Origanum vulgare*) (Bora *et al.*, 2022), vi) ajo (*Allium sativum*) (Ezeorba *et al.*, 2022), y vii) canela (*Cinnamomum verum*) (Abd *et al.*, 2020). Aunque la industria alimentaria utiliza AE como agentes aromatizantes, su potencial como antimicrobianos naturales no ha sido explorada por completo. Por lo tanto, esta revisión analiza la actividad antimicrobiana de los AE, a partir de la composición química de sus constituyentes: i) terpenos, ii) terpenoides, iii) polifenoles – fenilpropenos, y iv) polifenoles – flavonoides. Finalmente, se presentan las principales estructuras bacterianas y el efecto de los AE sobre ellas.

### Composición química de los aceites esenciales

Los AE y sus componentes se utilizan en: fragancias, cosméticos, productos farmacéuticos, aromaterapia, artículos sanitarios, odontología, agricultura, conservantes y aditivos (Candela *et al.*, 2021; Abelan *et al.*, 2022). Son extraídos principalmente de las plantas (D'Addabbo & Avato, 2021) y contienen diferentes compuestos químicos con propiedades antimicrobianas (Vianna *et al.*, 2021) p. ej., terpenos, terpenoides, y polifenoles, como fenilpropenos y flavonoides (Álvarez *et al.*, 2021). De manera paralela, presentan propiedades antioxidantes (Perumal *et al.*, 2022), que se pueden utilizar en la industria alimenticia para prevenir la degradación de productos cárnicos (Chen *et al.*, 2021).



La concentración de los compuestos químicos presentes en los AE varía de planta en planta (Cascaes *et al.*, 2021), por el momento de su cosecha (Faria *et al.*, 2021) y por el método de su extracción (Teigiserova *et al.*, 2021); entre los que destacan: i) maceración y prensado (estas técnicas crean productos no deseados p. ej., ceras, extractos, y pigmentos) (Ghasemy *et al.*, 2022), ii) extracción asistida por microondas sin uso de disolventes (Bagade & Patil, 2021), y extracción con agua súper calentada (Ayub *et al.*, 2023), iii) destilación por arrastre con vapor de agua e hidrodestilación (Villamizar & Aular, 2022).

## Terpenos

Los terpenos (figura 1), son polímeros formados por la unión de varias moléculas de hidrocarburo isopreno ( $C_5H_8$ ) (Soto *et al.*, 2023), producidas en el citosol y en algunos cloroplastos de las células vegetales (Masyita *et al.*, 2022). La emisión de  $C_5H_8$  es más común en plantas de crecimiento rápido que no soportan largos periodos de estrés ambiental (Feng *et al.*, 2019). La emisión de  $C_5H_8$  también depende de la luz recibida (Li *et al.*, 2022), y la temperatura ambiental (Taylor *et al.*, 2019). A nivel mundial la emisión de  $C_5H_8$  por parte de las plantas se estima en 350 millones de t/año (Weraduwage *et al.*, 2022).

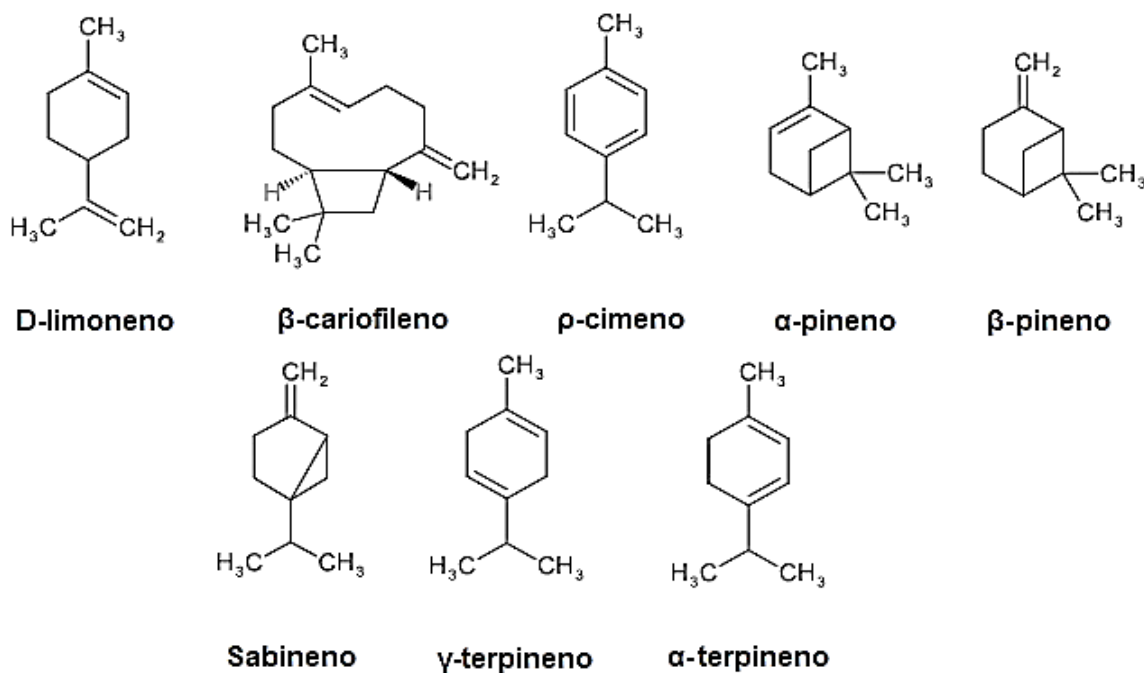


Figura 1. Estructura química de los principales terpenos

La síntesis de  $C_5H_8$  se origina por la reducción del mevalonato (figura 2) (Lee *et al.*, 2019). Esta molécula es formada por cinco carbonos, un grupo metilo ( $CH_3$ ), dos grupos hidroxilo ( $-OH$ ), y un grupo carboxilo ( $-COOH$ ) (Liu *et al.*, 2022).

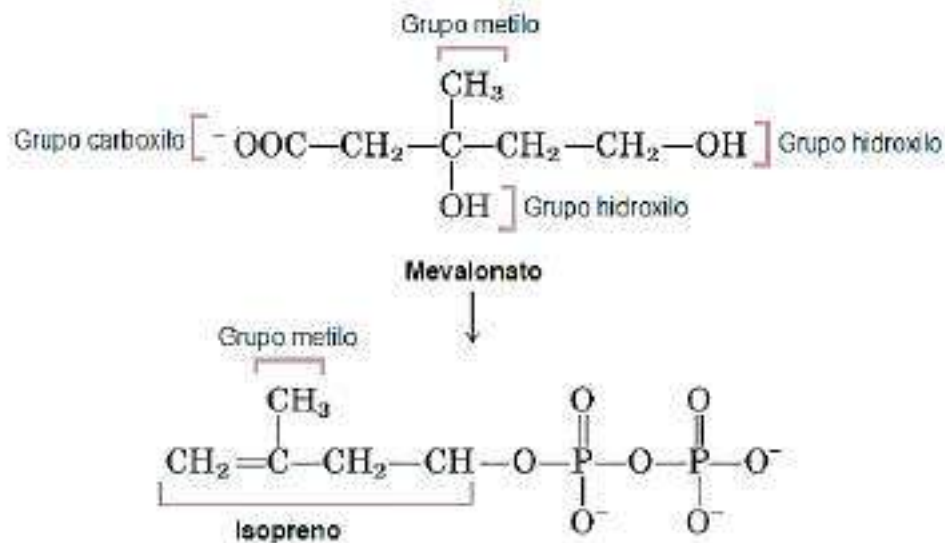


Figura 2. Hidrocarburo isopreno

Los terpenos (figura 1), suelen existir en forma de compuestos como: D-limoneno, encontrado en el AE de las cáscaras de cítricos (Chebet *et al.*, 2021); β-cariofileno, localizado en el AE de pimienta negra (Baradaran & Askari, 2022); p-cimeno, hallado en el AE de comino y tomillo (Custodio *et al.*, 2011); α-pineno, encontrado en el AE de pino o trementina (Karimkhani *et al.*, 2022); β-pineno, localizado en el AE de pino o trementina, artemisa grande y *Cannabis* (Weston *et al.*, 2021); sabineno, hallado en el AE de encino y abeto rojo (Masyita *et al.*, 2022); γ-terpineno, encontrado en el AE de cítricos, comino y alcaravea (Dehghani *et al.*, 2022); y α-terpineno, hallado en el AE de cardamomo y mejorana (Sousa *et al.*, 2022).

### Terpenoides

Los terpenoides (figura 3), son terpenos modificados por la adición de átomos de dióxigeno (O<sub>2</sub>) (Masyita *et al.*, 2022), o el reacomodo o eliminación de grupos CH<sub>3</sub> (Amirzakariya & Shakeri, 2022).

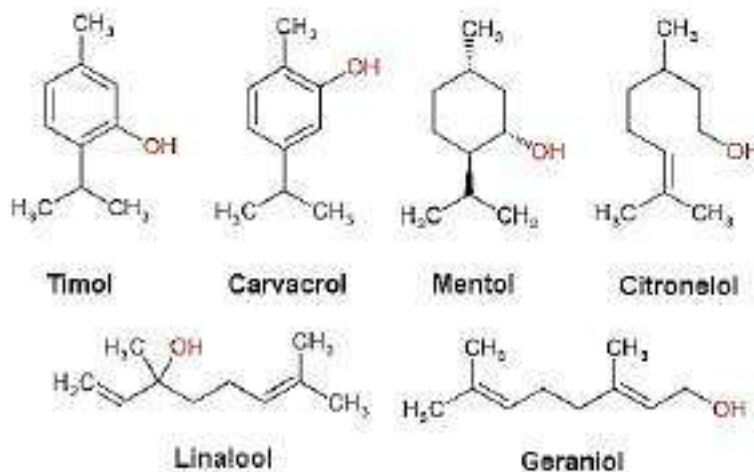


Figura 3. Estructura química de los principales terpenoides

Los terpenoides suelen existir en forma de compuestos como: timol, encontrado en el AE de tomillo y orégano (Posgay *et al.*, 2022), carvacrol, hallado en el AE de tomillo y orégano (Imran *et al.*, 2022), mentol, localizado en el AE de menta (Cheng & An, 2022), geraniol, encontrado en el AE de rosa y geranio (Bagheri *et al.*, 2022), citronelol, hallado en el AE de citronela (Santos *et al.*, 2019); y linalool, localizado en el AE de menta, laurel, canela y *Cannabis* (Weston *et al.*, 2021).

## Polifenoles

Los polifenoles son compuestos naturales encontrados en frutas, verduras, cereales y bebidas p. ej., té, café, vino tinto y jugos de frutas (Bertelli *et al.*, 2021). Presentan uno o más anillos fenólicos en su estructura principal (Libro *et al.*, 2016), (figura 4). Son considerados los antioxidantes dietéticos más abundantes (Li and Duan, 2019); se clasifican en dos grandes grupos: i) flavonoides (el grupo más abundante) y ii) no flavonoides (Khare *et al.*, 2022).

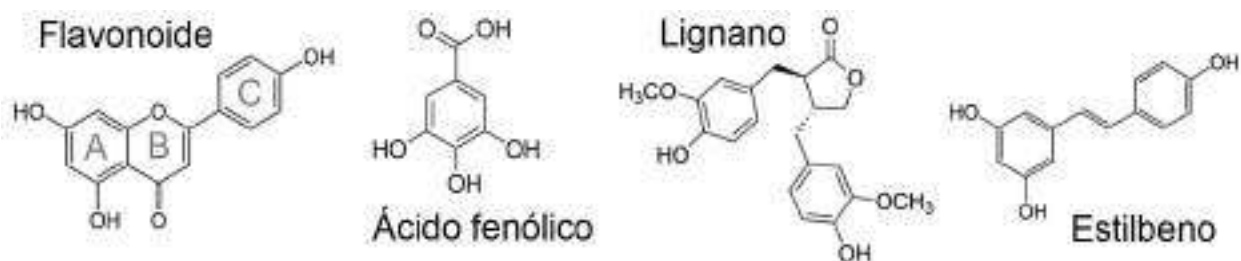


Figura 4. Estructura química de los principales polifenoles

Los flavonoides se acumulan en las vacuolas celulares (Teng *et al.*, 2023); presentan dos anillos fenólicos unidos por tres átomos de carbono en heterociclos oxigenados ( $C_6C_3C_6$ ) (Libro *et al.*, 2016), llamados anillos A, B, y C (Bertelli *et al.*, 2021). Dentro de los flavonoides, destacan:

- Antocianinas (zarzamora, aceituna negra, cereza, fresa y frambuesa)
- Flavonoles (alcaparras, azafrán, orégano, cebolla morada y espinaca)
- Flavanonas (menta, orégano, jugo de toronja, y jugo de naranja) (Sekaran *et al.*, 2022). Incluyen a las moléculas hesperetina, eriodictiol y naringenina (Najmanova *et al.*, 2020)
- Flavonas (menta, orégano, apio y harina de trigo integral)
- Flavonoles (azafrán, alcaparras, orégano, espinaca y cebolla morada)
- Isoflavonas (soya)

López *et al.* (2020) y Lang *et al.* (2024) indicaron que los compuestos no flavonoides se clasifican principalmente en:

- Ácidos fenólicos. Presentan un grupo fenólico y un ácido carboxílico ( $C_6C_1$ ), y se distribuyen en dos subgrupos: i) ácidos hidroxibenzoicos: castaña, jugo de granada, clavo, frambuesa y arándano; y ii) ácidos hidroxicinámicos: menta, tomillo, romero y orégano.

- Lignanos. Están formados por dos grupos fenilo incorporados a dos unidades de propano ( $C_6C_3C_3C_6$ ), y se distribuyen en dos subgrupos: i) matairesinol: ajonjolí, linaza y girasol; secoisolariciresinol: linaza, kiwi y cacahuete.
- Estilbenos. Presentan dos anillos fenólicos unidos a una unidad de etano ( $C_6C_2C_6$ ). El subgrupo más grande de los Estilbenos es el resveratrol: vino tinto, pistache, arándano, fresa, grosella y cacahuete.

### Principales estructuras bacterianas

La eficacia antimicrobiana de los AE depende de: i) la composición química del aceite (Galgano *et al.*, 2022), ii) las condiciones ambientales (Falleh *et al.*, 2020), y iii) las estructuras bacterianas Gram<sup>+</sup> y Gram<sup>-</sup> (Valdivieso *et al.*, 2019). Las bacterias Gram<sup>+</sup> (figura 5) presentan: i) pared celular de peptidoglucano con 20 a 80 nm (Dziarski & Gupta, 2010) y ii) membrana citoplasmática (Shanmugasundarasamy *et al.*, 2022), se tiñen de color azul o violeta con la tinción de Hans Christian Gram (Javaeed *et al.*, 2021); p. ej., forma de bacilo (*Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Lactobacillus* y *Listeria*) o coco (*Staphylococcus* y *Streptococcus*) (Rohde, 2019).

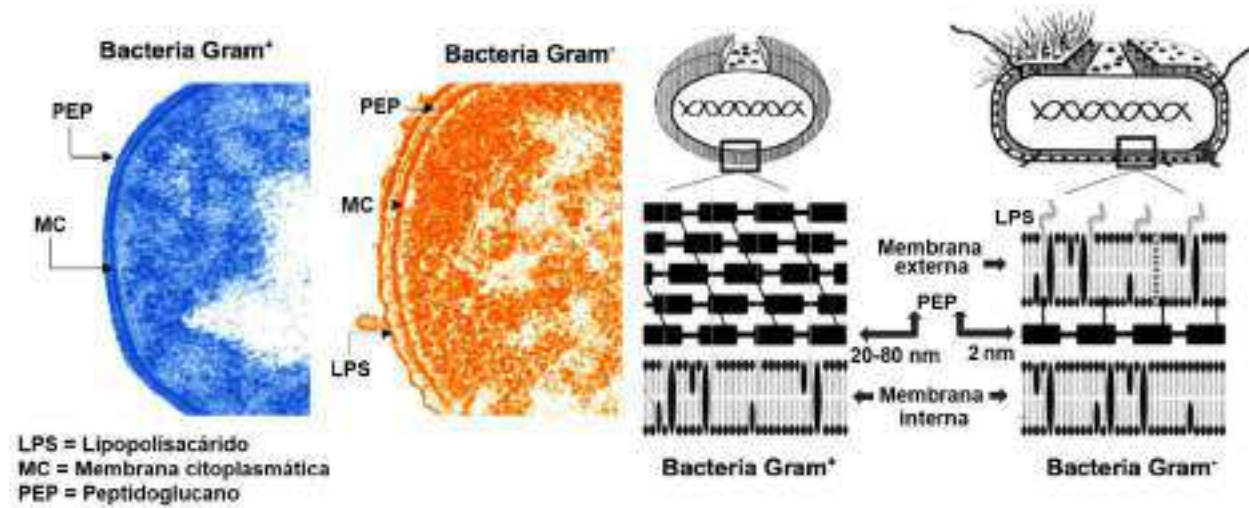


Figura 5. Representación de la pared celular en bacterias Gram<sup>+</sup> y Gram<sup>-</sup>

Las bacterias Gram<sup>-</sup> (figura 5) presentan: i) membrana externa de lipopolisacárido (LPS) o endotoxina (Brodzikowska *et al.*, 2022), lipoproteínas y algunas enzimas p. ej., fosfolipasas que hidrolizan enlaces éster (**COO-CH**) en los fosfolípidos (González *et al.*, 2021) y peptidasas que hidrolizan enlaces peptídicos (**CO-NH**) en las proteínas (Zhan *et al.*, 2018), ii) pared celular con 2 nm de peptidoglucano (Dziarski & Gupta, 2010) y iii) membrana citoplasmática, se tiñen de color rojo tenue con la tinción de Hans Christian Gram (Javaeed *et al.*, 2021), p. ej., *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serotipo Enteritidis, *Helicobacter* (Ramatla *et al.*, 2023; Shahdadi *et al.*, 2023).

El peptidoglucano (Figura 6) es un copolímero formado por una secuencia alternante de *N*-acetilmurámico (**MurNAc**) (Girardin & Philpott, 2004) y *N*-acetil- $\beta$ -D-glucosamina

(GlcNac) (Rohde, 2019), unidos mediante enlaces  $\beta$  en los carbonos C:1 y C:4 (Dziarski & Gupta, 2010). Es considerado, el antígeno de superficie más importante de las bacterias Gram<sup>+</sup> (Rohde, 2019).

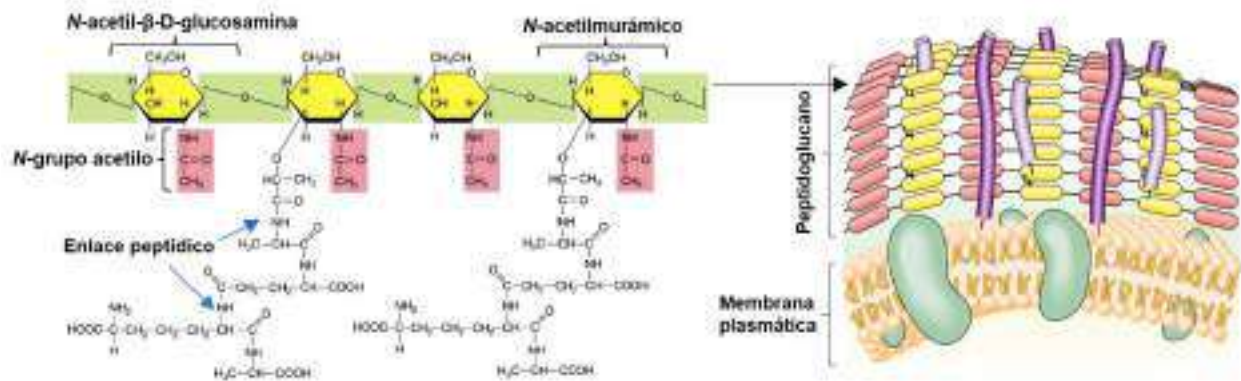


Figura 6. Estructura del peptidoglucano en bacterias Gram<sup>+</sup>

El LPS o endotoxina (figura 7), es un glucolípido compuesto de dos unidades de glucosamina ( $C_6H_{13}NO_5$ ) fosforilada (Brodzikowska *et al.*, 2022); unidas mediante enlaces  $\beta$  en los carbonos C:1 y C:6 a ácidos grasos saturados (sin enlaces dobles) (Mazgaeen & Gurung, 2020), insertos en la membrana externa de la bacteria (González *et al.*, 2021).

Estos ácidos grasos por lo general son: caproico C:6, láurico C:12, mirístico C:14, palmítico C:16 y esteárico C:18 (Di Lorenzo *et al.*, 2019). Proseé tres regiones: i) lípido A o región hidrofóbica próxima a la membrana bacteriana (Mazgaeen & Gurung, 2020), ii) núcleo o core (heteropolisacárido intermedio) dividido en interno (heptosas, algunas fosforiladas) y externo (hexosas) (Di Lorenzo *et al.*, 2019), y iii) antígeno O también llamado región distal hidrofílica de repeticiones de polisacáridos (Whitfield *et al.*, 2020).

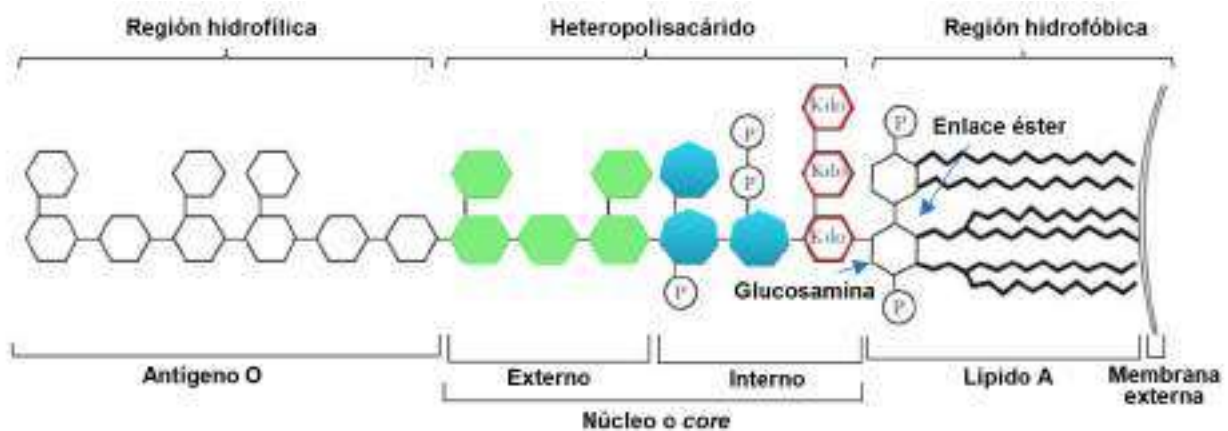


Figura 7. Estructura del lipopolisacárido en bacterias Gram<sup>-</sup>



El LPS, es considerado el antígeno de superficie más importante de las bacterias Gram<sup>-</sup> (Whitfield *et al.*, 2020). El proceso de adhesión entre el LPS y las células eucariotas es mediado por el lípido A (Mazgaeen & Gurung, 2020), el núcleo o core, el antígeno O y su capacidad para formar puentes o enlaces de hidrógeno (Brodzikowska *et al.*, 2022), con interacciones electrostáticas entre los átomos del ion hidrógeno ( $H^+$ ) y átomos electronegativos, como el  $O_2^-$  y el nitrógeno ( $N^{2-}$ ) en las proteínas de las células eucariotas (Di Lorenzo *et al.*, 2019).

### **Efecto de los aceites esenciales sobre las principales estructuras bacterianas**

En general, los AE pueden tener más de cien compuestos (Santos *et al.*, 2022). Los terpenos y los terpenoides son los componentes principales de los AE (85 al 95%) (Masyita *et al.*, 2022), y presentan efectos antimicrobianos específicos (Soto *et al.*, 2023). El carvacrol aumenta la permeabilidad de la membrana celular bacteriana, y altera el equilibrio iónico en ambos lados de la membrana (Sharifi *et al.*, 2018). En consecuencia, se desencadena la fuga del ion potasio ( $K^+$ ) y protones (Masyita *et al.*, 2022), la desnaturalización de las proteínas celulares (Weston *et al.*, 2021), fuga de material citoplásmico (Dehghani *et al.*, 2022), alteración de la cadena respiratoria (Sharma *et al.*, 2021), y la consecuente reducción en la síntesis de trifosfato de adenosina (ATP) (Cascaes *et al.*, 2021); y finalmente se desencadena la lisis y muerte bacteriana (Falleh *et al.*, 2020). Esta efectividad se debe a la posición relativa de su grupo -OH (Dorman y Deans, 2000). Esta información fue comprobada por (Ben *et al.*, 2006; del V Turina *et al.*, 2006), a través de un examen microscópico por el que se apreció que el carvacrol penetra fácilmente la membrana citoplasmática, y al cambiar la permeabilidad de la membrana, hace que la membrana citosólica desaparezca.

La evaluación del timol reveló que su aplicación desencadena la eliminación de fosfolípidos y la destrucción de las membranas bacterianas (Su *et al.*, 2009); además es capaz de recuperar a macrófagos infectados por estrés oxidativo (Chauhan & Kang, 2014). A partir de métodos espectroscópicos, acoplamiento y microscopía de fuerza atómica, se analizó la interacción del timol con el ADN genómico (Wang *et al.*, 2017) y se identificó su potencial como antimicrobiano. La alta actividad antimicrobiana del eugenol se puede atribuir a la presencia de grupos -OH fenólicos (Álvarez *et al.*, 2021), que dañan la membrana celular (figura 8) y la producción de biopelículas y provoca muerte celular por formación de lesiones de membrana y fuga del contenido celular (Yadav *et al.*, 2015).

Los terpenoides interactúan con las proteínas de la membrana y los fosfolípidos (Amirzakariya & Shakeri, 2022). Esta interacción provoca la inhibición de la cadena respiratoria celular (D'Addabbo & Avato, 2021), la interrupción de la fosforilación oxidativa (Santos *et al.*, 2019), la interrupción de la síntesis de ácidos nucleicos (Amirzakariya & Shakeri, 2022) y la pérdida de metabolitos (Falleh *et al.*, 2020).

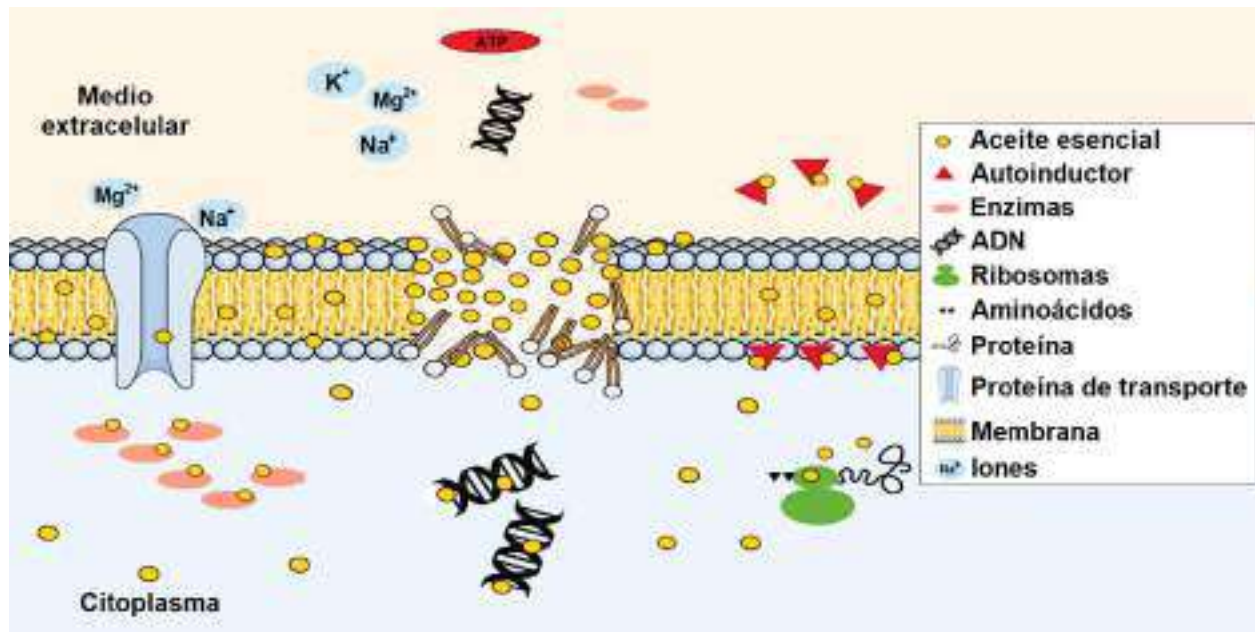


Figura 8. Ruptura de la membrana bacteriana por efecto de los aceites esenciales

Fuente: (da Silva *et al.*, 2022).

Los fenilpropenos forman puentes de H<sup>+</sup> con los lípidos (Saad *et al.*, 2019), y alteran la estructura y la permeabilidad de la membrana celular (Zayed *et al.*, 2022), seguido de la fuga de ATP intracelular (Hou *et al.*, 2022), la salida de macromoléculas como proteínas y ácidos nucleicos (Saad *et al.*, 2019), y la pérdida de enzimas como β-galactosidasa y fosfatasa alcalina (Gurbuz & Irem, 2022). Por lo que se presenta condensación y polarización del contenido citoplasmático (Coelho *et al.*, 2022) y finalmente la muerte bacteriana (Contant *et al.*, 2021). Por lo tanto, el grupo -OH libre (Saad *et al.*, 2019), la naturaleza hidrófoba de la molécula (Kaur & Chakraborty, 2013), y su efecto fluidificante (Hou *et al.*, 2022), son considerados como los responsables de la actividad antimicrobiana de los fenilpropenos (Zayed *et al.*, 2022).

Los flavonoides tienen actividad antifúngica, especialmente contra el patógeno oportunista *C. albicans*. Además, destruyen las membranas celulares bacterianas al alterar la fluidez de las regiones hidrofílicas e hidrofóbicas de la membrana citoplasmática (Ulrih *et al.*, 2010), inhiben la peroxidación lipídica (Shah *et al.*, 2023) y poseen efectos antimutagénicos (de Sousa Silva *et al.*, 2023).

## CONCLUSIONES

Los antimicrobianos sintéticos que se utilizan en la conservación de alimentos, presentan un elevado nivel toxicológico; por lo tanto pueden ser inseguros para el consumo humano. En los últimos años, los aceites esenciales han sido utilizados como sustratos en la perfumería; sin embargo, sus ésteres, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, terpenos, terpenoides, cetonas, ácidos y aldehídos, presentan propiedades antimicrobianas como: reducción del ensamblaje de lípidos en la pared celular bacteriana, fuga de iones,



desnaturalización de proteínas celulares, escape de material citoplásmico, alteración de la cadena respiratoria y finalmente la lisis bacteriana.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), y el proyecto: Aceites esenciales en carne y huevos desafiados con *Salmonella enteritidis*.

### LITERATURA CITADA

ABD E, Alagawany M, Abdel M, Mohammed N, Khafaga A, Bin J, Othman S, Allam A, Elnesr S. 2020. Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) oil as a potential alternative to antibiotics in poultry. *Antibiotics (Basel)*. 9(5):1-12. ISSN: 2079-6382.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics9050210>

ABELAN US, de Oliveira AC, Cacoci ESP, Martins TEA, Giacon VM, Velasco MVR, Lima C. 2022. Potential use of essential oils in cosmetic and dermatological hair products: A review. *J Cosmet Dermatol*. 21(4):1407-1418. ISSN: 1473-2165.

<https://doi.org/10.1111/jocd.14286>

ÁLVAREZ MFJ, Barrajon CE, Herranz LM, Micol V. 2021. Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*. 90(1):153626. ISSN: 1618-095X.

<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>

AMIRZAKARIYA BZ, Shakeri A. 2022. Bioactive terpenoids derived from plant endophytic fungi: An updated review (2011-2020). *Phytochemistry*. 197(1):113-130. ISSN: 1873-3700. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113130>

ANGANE M, Swift S, Huang K, Butts CA, Quek SY. 2022. Essential oils and their major components: an updated review on antimicrobial activities, mechanism of action and their potential application in the food industry. *Foods*. 11(3). ISSN: 2304-8158.

<https://doi.org/10.3390/foods11030464>

AYUB MA, Goksen G, Fatima A, Zubair M, Abid MA, Starowicz M. 2023. Comparison of conventional extraction techniques with superheated steam distillation on chemical characterization and biological activities of *Syzygium aromaticum* L. essential oil. *J Separations*. 10(1):27. ISSN: 2297-8739. <https://doi.org/10.3390/separations10010027>

BAGADE SB, Patil M. 2021. Recent advances in microwave assisted extraction of bioactive compounds from complex herbal samples: a review. *Crit Rev Anal Chem*. 51(2):138-149. ISSN: 1547-6510. <https://doi.org/10.1080/10408347.2019.1686966>

BAGHERI S, Salehi I, Ramezani AF, Kourosh AM, Komaki A. 2022. Neuroprotective effect of geraniol on neurological disorders: a review article. *Mol Biol Rep*. 49(11):10865-10874. ISSN: 1573-4978. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07755-w>

BARADARAN RV, Askari VR. 2022. A mechanistic review on immunomodulatory effects of selective type two cannabinoid receptor  $\beta$ -caryophyllene. *Biofactors*. 48(4):857-882. ISSN: 1872-8081. <https://doi.org/10.1002/biof.1869>



BEN AA, Combes S, Preziosi BL, Gontard N, Chalier P. 2006. Antimicrobial activity of carvacrol related to its chemical structure. *Lett Appl Microbiol.* 43(2):149-154. ISSN: 0266-8254. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.01938.x>

BERTELLI A, Biagi M, Corsini M, Bainsi G, Cappellucci G, Miraldi E. 2021. Polyphenols: from theory to practice. *Foods.* 10(11):1-10. ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods10112595>

BORA L, Avram S, Pavel IZ, Muntean D, Liga S, Buda V, Gurgus D, Danciu C. 2022. An up-to-date review regarding cutaneous benefits of *Origanum vulgare* L. essential oil. *Antibiotics (Basel).* 11(5):1-20. ISSN: 2079-6382.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics11050549>

BRODZIKOWSKA A, Ciechanowska M, Kopka M, Stachura A, Wlodarski PK. 2022. Role of lipopolysaccharide, derived from various bacterial species, in pulpitis: a systematic review. *Biomolecules.* 12(1):1-30. ISSN: 2218-273X.

<https://doi.org/10.3390/biom12010138>

CANDELA RG, Rosselli S, Bruno M, Fontana G. 2021. A review of the phytochemistry, traditional uses and biological activities of the essential oils of Genus *teucrium*. *Planta Med.* 87(6):432-479. ISSN: 1439-0221. <https://doi.org/10.1055/a-1293-5768>

CASCAES MM, Carneiro ODS, Nascimento LDD, de Moraes AAB, de Oliveira MS, Cruz JN, Guilhon G, Andrade EHA. 2021. Essential oils from annonaceae species from Brazil: a systematic review of their phytochemistry, and biological activities. *Int J Mol Sci.* 22(22):1-23. ISSN: 1422-0067. <https://doi.org/10.3390/ijms222212140>

CHAUHAN AK, Kang SC. 2014. Thymol disrupts the membrane integrity of *Salmonella* ser. *typhimurium* *in vitro* and recovers infected macrophages from oxidative stress in an *ex vivo* model. *Res Microbiol.* 165(7):559-565. ISSN 0923-2508.

<https://doi.org/10.1016/j.resmic.2014.07.001>

CHEBET JJ, Ehiri JE, McClelland DJ, Taren D, Hakim IA. 2021. Effect of D-limonene and its derivatives on breast cancer in human trials: a scoping review and narrative synthesis. *BMC Cancer.* 21(1):902-212. ISSN: 1471-2407. <https://doi.org/10.1186/s12885-021-08639-1>

CHEN K, Zhang M, Bhandari B, Mujumdar AS. 2021. Edible flower essential oils: a review of chemical compositions, bioactivities, safety and applications in food preservation. *Food Res Int.* 139(1):109809. ISSN: 1873-7145. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109809>

CHENG H, An X. 2022. Cold stimuli, hot topic: an updated review on the biological activity of menthol in relation to inflammation. *Front Immunol.* 13(1):10-21. ISSN: 1664-3224. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1023746>

COELHO ML, Islam MT, Laylson da Silva OG, Oliveira BAMV, Víctor de Oliveira SJ, Campinho DRA, Oliveira FMAM, Correia JPMF, Docea AO, Calina D, Sharifi RJ, Amelia de Carvalho MCA. 2022. Cytotoxic and antioxidant properties of natural bioactive monoterpenes nerol, estragole, and 3,7-dimethyl-1-octanol. *Adv Pharmacol Pharm Sci.* 2022(1):800-8009. ISSN: 2633-4690. <https://doi.org/10.1155/2022/8002766>



CONTANT C, Rouabhia M, Loubaki L, Chandad F, Semlali A. 2021. Anethole induces anti-oral cancer activity by triggering apoptosis, autophagy and oxidative stress and by modulation of multiple signaling pathways. *Sci Rep.* 11(1):130-141. ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92456-w>

CUSTODIO JB, Ribeiro MV, Silva FS, Machado M, Sousa MC. 2011. The essential oils component p-cymene induces proton leak through Fo-ATP synthase and uncoupling of mitochondrial respiration. *J Exp Pharmacol.* 3(1):69-76. ISSN: 1179-1454. <https://doi.org/10.2147/JEP.S16387>

DA SILVA BD, do Rosário DKA, Weitz DA, Conte JCA. 2022. Essential oil nanoemulsions: Properties, development, and application in meat and meat products. *Trends Food Sci Technol.* 121(1):1-13. ISSN: 0924-2244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.026>

DAVIDSON PM, Taylor TM, Schmidt SE. 2012. Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. *Food microbiol.* 1(1):765-801. ISBN: 9781119739135. <https://doi.org/10.1128/97811555818463.ch30>

D'ADDABBO T, Avato P. 2021. Chemical composition and nematocidal properties of sixteen essential oils-a review. *Plants (Basel).* 10(7):1-12. ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants10071368>

DE MACEDO LM, Santos EMD, Militao L, Tundisi LL, Ataide JA, Souto EB, Mazzola PG. 2020. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L., syn *Salvia rosmarinus* Spenn.) and its topical applications: a review. *Plants (Basel).* 9(5):1-12. ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants9050651>

DE SOUSA Silva GV, Lopes A, Viali IC, Lima LZM, Bizuti MR, Haag FB, Tavares de Resende ESD. 2023. Therapeutic properties of flavonoids in treatment of cancer through autophagic modulation: a systematic review. *Chin J Integr Med.* 29(3):268-279. ISSN: 1672-0415. <https://doi.org/10.1007/s11655-022-3674-9>

DEHGHANI AZ, Omid M, Azizinezhad R, Etminan A. 2022. Stimulation of secondary metabolites and  $\gamma$ -terpinene synthase by silver nanoparticles in callus cultures of *Carum carvi*. *Appl Biochem Biotechnol.* 194(7):3228-3241. ISSN: 1559-0291. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03879-8>

DEL V TURINA A, Nolan M, Zygadlo J, Perillo M. 2006. Natural terpenes: self-assembly and membrane partitioning. *Biophys.* 122(2):101-113. ISSN: 0301-4622. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2006.02.007>

DI LORENZO F, De Castro C, Silipo A, Molinaro A. 2019. Lipopolysaccharide structures of Gram<sup>-</sup> populations in the gut microbiota and effects on host interactions. *FEMS Microbiol Rev.* 43(3):257-272. ISSN: 1574-6976. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuz002>

DORMAN HJ, Deans SG, 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *J Appl Microbiol.* 88(1):308-316. ISSN: 1364-5072. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x>

DZIARSKI R, Gupta D. 2010. Review: mammalian peptidoglycan recognition proteins (PGRPs) in innate immunity. *Innate Immun.* 16(3):168-174. ISSN: 1753-4267. <https://doi.org/10.1177/1753425910366059>



EZEORBA TPC, Chukwudozie KI, Ezema CA, Anaduaka EG, Nweze EJ, Okeke ES. 2022. Potentials for health and therapeutic benefits of garlic essential oils: recent findings and future prospects. *Pharmacol Res.* 3(2022):1-15. ISSN: 2667-1425.

<https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2022.100075>

FALLEH H, Ben JM, Saada M, Ksouri R. 2020. Essential oils: a promising eco-friendly food preservative. *Food Chem.* 330(1):127268. ISSN: 1873-7072.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>

FARIA JMS, Barbosa P, Vieira P, Vicente CSL, Figueiredo AC, Mota M. 2021. Phytochemicals as biopesticides against the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*: a review on essential oils and their volatiles. *Plants (Basel).* 10(12):1-21. ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants10122614>

FENG Z, Yuan X, Fares S, Loreto F, Li P, Hoshika Y, Paoletti E. 2019. Isoprene is more affected by climate drivers than monoterpenes: A meta-analytic review on plant isoprenoid emissions. *Plant Cell Environ.* 42(6):1939-1949. ISSN: 1365-3040.

<https://doi.org/10.1111/pce.13535>

GALGANO M, Capozza P, Pellegrini F, Cordisco M, Sposato A, Sblano S, Camero M, Lanave G, Fracchiolla G, Corrente M, Cirone F, Trotta A, Tempesta M, Buonavoglia D, Pratelli A. 2022. Antimicrobial activity of essential oils evaluated *in vitro* against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Antibiotics (Basel).* 11(7):1-10. ISSN: 2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11070979>

GAVAHIAN M, Chu YH, Lorenzo JM, Mousavi KA, Barba FJ. 2020. Essential oils as natural preservatives for bakery products: Understanding the mechanisms of action, recent findings, and applications. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 60(2):310-321. ISSN: 1549-7852. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1525601>

GHASEMY PF, Kavousi F, Kazemi AM. 2022. Comparison for the production of essential oil by conventional, novel and biotechnology methods. *JEOR.* 34(5):455-478. ISSN: 1041-2905. <https://doi.org/10.1080/10412905.2022.2120557>

GIRARDIN SE, Philpott DJ. 2004. Mini-review: the role of peptidoglycan recognition in innate immunity. *Eur J Immunol.* 34(7):1777-1782. ISSN: 0014-2980.

<https://doi.org/10.1002/eji.200425095>

GONZÁLEZ FC, Basauri A, Fallanza M, Bringas E, Oostenbrink C, Ortiz I. 2021. Fighting against bacterial lipopolysaccharide-caused infections through molecular dynamics simulations: a review. *J Chem Inf Model.* 61(10):4839-4851. ISSN: 1549-960X.

<https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00613>

GURBUZ M, Irem OKB. 2022. The anti-campylobacter activity of eugenol and its potential for poultry meat safety: a review. *Food Chem.* 394(1):133-147. ISSN: 1873-7072.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133519>

HARO GJN, Castillo HGA, Martínez VM, Espinosa AH. 2021. Clove essential oil (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): extraction, chemical composition, food applications, and essential bioactivity for human health. *Molecules.* 26(21):1-25. ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules26216387>



HOU T, Sana SS, Li H, Xing Y, Nanda A, Netala VR, Zhang Z. 2022. Essential oils and its antibacterial, antifungal and anti-oxidant activity applications: a review. *Food Biosci.* 47(2022):101716. ISSN: 2212-4292. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101716>

IMRAN M, Aslam M, Alsagaby SA, Saeed F, Ahmad I, Afzaal M, Arshad MU, Abdelgawad MA, El-Ghorab AH, Khames A, Shariati MA, Ahmad A, Hussain M, Imran A, Islam S. 2022. Therapeutic application of carvacrol: a comprehensive review. *Food Sci Nutr.* 10(11):3544-3561. ISSN: 2048-7177. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2994>

JAVAEED A, Qamar S, Ali S, Mustafa MAT, Nusrat A, Ghauri SK. 2021. Histological stains in the past, present, and future. *Cureus.* 13(10):e18486. ISSN: 2168-8184.

<https://doi.org/10.7759/cureus.18486>

KARIMKHANI MM, Nasrollahzadeh M, Maham M, Jamshidi A, Kharazmi MS, Dehnad D, Jafari SM. 2022. Extraction and purification of  $\alpha$ -pinene; a comprehensive review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1(1):1-26. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2140331>

KAUR B, Chakraborty D. 2013. Biotechnological and molecular approaches for vanillin production: a review. *Appl Biochem Biotechnol.* 169(4):1353-1372. ISSN: 1559-0291.

<https://doi.org/10.1007/s12010-012-0066-1>

KHARE S, Prasad RD, Kumar A. 2022. Structure activity relationship of flavonoids: recent updates. In *The chemistry inside spices & herbs: research and development*. Vol. 1. Pp. 237-259. <https://doi.org/10.2174/9789815039566122010011>

LANG Y, Gao N, Zang Z, Meng X, Lin Y, Yang S, Li B. 2024. Classification and antioxidant assays of polyphenols: a review. *J Future Foods.* 4(3):193-204. ISSN: 2666-8335.

<https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.07.002>

LEE HW, Park JH, Lee HS, Choi W, Seo SH, Anggraini ID, Choi ES, Lee HW. 2019. Production of bio-based isoprene by the mevalonate pathway cassette in *Ralstonia eutropha*. *J Microbiol Biotechnol.* 29(10):1656-1664. ISSN: 1738-8872.

<https://doi.org/10.4014/jmb.1909.09002>

LI SY, Duan CQ. 2019. Astringency, bitterness and color changes in dry red wines before and during oak barrel aging: An updated phenolic perspective review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 59(12):1840-1867. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1431762>

LI S, Yuan X, Feng Z, Du Y, Agathokleous E, Paoletti E. 2022. Whole-plant compensatory responses of isoprene emission from hybrid poplar seedlings exposed to elevated ozone. *Sci Total Environ.* 806(Pt 4):150949. ISSN: 1879-1026.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150949>

LIBRO R, Giacoppo S, Soundara RT, Bramanti P, Mazzon E. 2016. Natural phytochemicals in the treatment and prevention of dementia: an overview. *Molecules.* 21(4):518-521. ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules21040518>



LIU CL, Dong HG, Xue K, Sun L, Yang Y, Liu X, Li Y, Bai Z, Tan TW. 2022. Metabolic engineering mevalonate pathway mediated by RNA scaffolds for mevalonate and isoprene production in *Escherichia coli*. *ACS Synth Biol*. 11(10):3305-3317. ISSN: 2161-5063. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.2c00226>

LÓPEZ FO, Domínguez R, Pateiro M, Munekata PES, Rocchetti G, Lorenzo JM. 2020. Determination of polyphenols using liquid chromatography-tandem mass spectrometry technique (LC-MS/MS): a review. *Antioxidants*. 9(6):10-18. ISSN: 2076-3921.

<https://doi.org/10.3390/antiox9060479>

MACHNIK P, Biazar N, Schuster S. 2023. Recordings in an integrating central neuron reveal the mode of action of isoeugenol. *Commun Biol*. 6(1):309-3012. ISSN: 2399-3642. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04695-4>

MAHMUD J, Khan RA. 2018. Characterization of natural antimicrobials in food system. *Adv Microbiol*. 8(11): 894-916. <https://doi.org/10.4236/aim.2018.811060>

MASYITA A, Mustika S, R., Dwi AA, Yasir B, Rahma RN, Emran TB, Nainu F, Simal GJ. 2022. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chem X*. 13(1):100217. ISSN: 2590-1575. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>

MAZGAEEN L, Gurung P. 2020. Recent advances in lipopolysaccharide recognition systems. *Int J Mol Sci*. 21(2):1-18. ISSN: 1422-0067.

<https://doi.org/10.3390/ijms21020379>

MIERES CD, Ahmar S, Shabbir R, Mora PF. 2021. Antiviral activities of eucalyptus essential oils: their effectiveness as therapeutic targets against human viruses. *Pharmaceuticals (Basel)*. 14(12):1-18. ISSN: 1424-8247.

<https://doi.org/10.3390/ph14121210>

NAJMANOVA I, Voprsalova M, Saso L, Mladenka P. 2020. The pharmacokinetics of flavanones. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 60(18):3155-3171. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1679085>

PERUMAL AB, Huang L, Nambiar RB, He Y, Li X, Sellamuthu PS. 2022. Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chem*. 375(1):131810. ISSN: 1873-7072.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131810>

POSGAY M, Greff B, Kapcsandi V, Lakatos E. 2022. Effect of *Thymus vulgaris* L. essential oil and thymol on the microbiological properties of meat and meat products: a review. *Heliyon*. 8(10):e10812. ISSN: 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10812>

RAMATLA T, Tawana M, Lekota KE, Thekisoe O. 2023. Antimicrobial resistance genes of *Escherichia coli*, a bacterium of "One Health" importance in South Africa: Systematic review and meta-analysis. *AIMS Microbiol*. 9(1):75-89. ISSN: 2471-1888.

<https://doi.org/10.3934/microbiol.2023005>



- RAMDANI D, Yuniarti E, Jayanegara A, Chaudhry AS. 2023. Roles of essential oils, polyphenols, and saponins of medicinal plants as natural additives and anthelmintics in ruminant diets: a systematic review. *Animals (Basel)*. 13(4):1-15. ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani13040767>
- ROHDE M. 2019. The Gram<sup>+</sup> bacterial cell wall. *Microbiol Spectr*. 7(3):1-10. ISSN: 2165-0497. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.GPP3-0044-2018>
- SAAD MMG, Gouda NAA, Abdelgaleil SAM. 2019. Bioherbicidal activity of terpenes and phenylpropenes against *Echinochloa crus-galli*. *J Environ Sci Health B*. 54(12):954-963. ISSN: 1532-4109. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1653121>
- SANTOS MIS, Marqués C, Mota J, Pedroso L, Lima A. 2022. Applications of essential oils as antibacterial agents in minimally processed fruits and vegetables-a review. *Microorganisms*. 10(4):1-24. ISSN: 2076-2607. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040760>
- SANTOS PL, Matos J, Picot L, Almeida J, Quintans JSS, Quintans JLJ. 2019. Citronellol, a monoterpene alcohol with promising pharmacological activities: a systematic review. *Food Chem Toxicol*. 123(1):459-469. ISSN: 1873-6351. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.030>
- SHARIFI RM, Varoni EM, Iriti M, Martorell M, Setzer WN, del Mar Contreras M. 2018. Carvacrol and human health: a comprehensive review. *Phytotherapy Research*. 32(9):1675-1687. ISSN: 1099-1573. <https://doi.org/10.1002/ptr.6103>
- SEKARAN S, Roy A, Thangavelu L. 2022. Re-appraising the role of flavonols, flavones and flavonones on osteoblasts and osteoclasts: a review on its molecular mode of action. *Chem Biol Interact*. 355(1):109831. ISSN: 1872-7786. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.109831>
- SHAH S, Narang R, Singh VJ, Govindaiah P, Nayak SK. 2023. A review on anticancer profile of flavonoids: sources, chemistry, mechanisms, structure-activity relationship and anticancer activity. *Curr Drug Res Rev*. 15(2):122-148. ISSN: 2589-9783. <https://doi.org/10.2174/2589977515666230120144852>
- SHAHDADI M, Safarirad M, Berizi E, Mazloomi SM, Hosseinzadeh S, Zare M, Derakhshan Z, Rajabi S. 2023. A systematic review and modeling of the effect of bacteriophages on Salmonella spp. Reduction in chicken meat. *Heliyon*. 9(4):e14870. ISSN: 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14870>
- SHANMUGASUNDARASAMY T, Karaiyagowder GD, Kandaswamy K. 2022. A review on pilus assembly mechanisms in Gram<sup>+</sup> and Gram<sup>-</sup> bacteria. *Cell Surf*. 8(1):100-110. ISSN: 2468-2330. <https://doi.org/10.1016/j.tcsu.2022.100077>
- SHARMA S, Barkauskaite S, Jaiswal AK, Jaiswal S. 2021. Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chem*. 343(1):128403. ISSN: 1873-7072. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>
- SINGH B, Singh JP, Kaur A, Yadav MP. 2021. Insights into the chemical composition and bioactivities of citrus peel essential oils. *Food Res Int*. 143(1):110231. ISSN: 1873-7145. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110231>



SOTO ER, Rus F, Mirza Z, Ostroff GR. 2023. Yeast particles for encapsulation of terpenes and essential oils. *Molecules*. 28(5):1-10. ISSN: 1420-3049.

<https://doi.org/10.3390/molecules28052273>

SOUSA LGV, Castro J, Cavaleiro C, Salgueiro L, Tomas M, Palmeira OR, Martínez OJ, Cerca N. 2022. Synergistic effects of carvacrol,  $\alpha$ -terpinene,  $\gamma$ -terpinene, rho-cymene and linalool against *Gardnerella* species. *Sci Rep*. 12(1):4417. ISSN: 2045-2322.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-08217-w>

SU HL, Chou CC, Hung DJ, Lin SH, Pao IC, Lin JH, Lin JJ. 2009. The disruption of bacterial membrane integrity through ROS generation induced by nanohybrids of silver and clay. *Biomaterials*. 30(30):5979-5987. ISSN: 0142-9612.

<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.07.030>

TAYLOR TC, Smith MN, Slot M, Feeley KJ. 2019. The capacity to emit isoprene differentiates the photosynthetic temperature responses of tropical plant species. *Plant Cell Environ*. 42(8):2448-2457. ISSN: 1365-3040. <https://doi.org/10.1111/pce.13564>

TEIGISEROVA DA, Tiruta BL, Ahmadi A, Hamelin L, Thomsen M. 2021. A step closer to circular bioeconomy for citrus peel waste: A review of yields and technologies for sustainable management of essential oils. *J Environ Manage*. 280(1):111832. ISSN: 1095-8630. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111832>

TENG H, Zheng Y, Cao H, Huang Q, Xiao J, Chen L. 2023. Enhancement of bioavailability and bioactivity of diet-derived flavonoids by application of nanotechnology: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 63(3):378-393. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1947772>

ULRIH NP, Ota A, Šentjurc M, Kure S, Abram V. 2010. Flavonoids and cell membrane fluidity. *Food Chem*. 121(1): 78-84. ISSN: 0308-8146.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.006>

VALDIVIESO UM, Gómez LC, Plaza DJ, Gil A. 2019. Antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties of essential oils: a systematic review. *Nutrients*. 11(11):1-29. ISSN: 2072-6643. <https://doi.org/10.3390/nu11112786>

VIANNA TC, Marinho CO, Marangoni JL, Ibrahim SA, Vieira RP. 2021. Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: A review. *Int J Biol Macromol*. 182(1):1803-1819. ISSN: 1879-0003. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.170>

VILLAMIZAR VM, Aular Y. 2022. Review of the extraction methods of the essential oil of lippia alba. *Rev Ingeniería UC*. 9(1):3-14. ISSN: 2610-8240.

<https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i1.90>

WANG LH, Zhang ZH, Zeng XA, Gong DM, Wang MS. 2017. Combination of microbiological, spectroscopic and molecular docking techniques to study the antibacterial mechanism of thymol against *Staphylococcus aureus*: membrane damage and genomic DNA binding. *Anal Bioanal Chem*. 409(6):1615-1625. ISSN: 1618-2642.

<https://doi.org/10.1007/s00216-016-0102-z>



WERADUWAGE SM, Rasulov B, Sahu A, Niinemets U, Sharkey TD. 2022. Isoprene measurements to assess plant hydrocarbon emissions and the methylerythritol pathway. *Methods Enzymol.* 676(1):211-237. ISSN: 1557-7988.

<https://doi.org/10.1016/bs.mie.2022.07.020>

WESTON GK, Clunas H, Jiménez NC. 2021. A review of the potential use of  $\beta$ -pinene and linalool as terpene-based medicines for brain health: discovering novel therapeutics in the flavours and fragrances of *Cannabis*. *Front Psychiatry.* 12(1):583211. ISSN: 1664-0640. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.583211>

WHITFIELD C, Williams DM, Kelly SD. 2020. Lipopolysaccharide O-antigens-bacterial glycans made to measure. *J Biol Chem.* 295(31):10593-10609. ISSN: 1083-351X. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.009402>

YADAV MK, Chae SW, Im GJ, Chung JW, Song JJ. 2015. Eugenol: a phyto-compound effective against methicillin-resistant and methicillin-sensitive *Staphylococcus aureus* clinical strain biofilms. *PLoS One.* 10(3): e0119564. ISSN: 1544-9173.

<https://doi.org/10.1007/s00216-016-0102-z>

ZAYED A, Sobeh M, Farag MA. 2022. Dissecting dietary and semisynthetic volatile phenylpropenes: a compile of their distribution, food properties, health effects, metabolism and toxicities. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1(1):1-20. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2087175>

ZHAN X, Stamova B, Sharp FR. 2018. Lipopolysaccharide associates with amyloid plaques, neurons and oligodendrocytes in alzheimer's disease brain: a review. *Front Aging Neurosci.* 10(1):42-50. ISSN: 1663-4365. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00042>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



**Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.18>**

**Revisión de Literatura. Recibido: 08/02/2022. Aceptado:21/05/2024. Publicado: 09/12/2024. Clave: e2022-13.**

**[https://www.youtube.com/watch?v=7QNHpiOL\\_JI](https://www.youtube.com/watch?v=7QNHpiOL_JI)**

## **Biofloc en el tratamiento de aguas residuales del cultivo de peces**

Biofloc as treatment for wastewater in fish farming



**González-Reyes Edgar<sup>1ID</sup>, Espinosa-Chaurand Daniel<sup>\*2ID</sup>, Hernández-Almeida Oscar<sup>3ID</sup>, Cortés-Sánchez Alejandro<sup>2ID</sup>, Palomino-Hermosillo Apatzingan<sup>3ID</sup>, Peraza-Gómez Viridiana<sup>\*\*1,4ID</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nayarit. Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias, México. <sup>2</sup>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR+), México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Nayarit. Cuerpo Académico del Departamento de Ciencias Biológico-Agropecuarias, México. <sup>4</sup>Universidad Autónoma de Nayarit. Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, San Blas, Nayarit, México. \*Autor responsable: Espinosa-Chaurand Daniel. \*\*Autor de correspondencia: Peraza-Gómez Viridiana, Laboratorio de Biotecnología Molecular Experimental, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit. Bahía Matanchén, Carretera Los Cocos Km 12. C.P. 63740, San Blas, Nayarit, México. E-mail: ed.glez.r@gmail.com, lespinosa@cibnor.mx, ubisha@uan.edu.mx, alecortes\_1@hotmail.com, pasingan@gmail.com, viridiana.peraza@uan.edu.mx

### **RESUMEN**

La industria acuícola se ha desarrollado gradualmente con el paso de los años debido a los beneficios económicos y sociales que se obtienen, pero como cualquier actividad agropecuaria tiene un impacto ambiental, tanto por la explotación continua de huella hídrica como por los desechos de producción. La concientización ambiental en acuicultura ha sido un paso enorme en la mejora de calidad para la industria dando la oportunidad de disminuir y aprovechar la gran mayoría de los residuos que se encuentran en el agua residual, con lo que se permite incluso conseguir subproductos que pueden proporcionar ingresos. En este trabajo se presenta una revisión de los tratamientos de aguas residuales en acuicultura desde los sistemas clásicos hasta los desarrollados en la actualidad, permitiendo conocer las ventajas y desventajas de cada uno, con el fin de explorar las alternativas disponibles para el desarrollo de una acuicultura responsable.

**Palabras clave:** acuicultura responsable, biorremediación, calidad de agua, transformación del nitrógeno.

### **ABSTRACT**

The aquaculture industry has developed gradually over the years due to the economic and social benefits that are obtained, but like any agricultural activity it has an environmental impact, both due to the continuous exploitation of the water footprint and due to production waste. Environmental awareness in aquaculture has been a huge step in improving quality for the industry, giving the opportunity to reduce and take advantage of most of the residues found in wastewater, allowing even by-products to be obtained that can provide income. This work presents a review of wastewater treatments in aquaculture from the classic systems to those currently developed, allowing to know the advantages and disadvantages of each one, to explore the available alternatives for the development of an aquaculture responsible.

**Keywords:** responsible aquaculture, bioremediation, water quality, nitrogen transformation.



## INTRODUCCIÓN

Con el paso de las décadas, la industria de la acuicultura ha sido desarrollada intensivamente para complacer el incremento de la demanda de consumo en producto acuático, de tal manera que en 2016 la producción acuícola ya representaba el 44.1% de la producción total de alimento acuático en el mundo (FAO, 2016). Debido a que se está realizando una producción de organismos vivos, dicho crecimiento de la industria acuícola ha causado severos problemas en el medio ambiente, especialmente al ser una actividad con una necesidad primaria de agua potable, se producen problemas relacionados con su aprovechamiento (Piedrahita, 2003), la eutrofización por vertimientos y los métodos para el tratamiento de aguas residuales (Liu *et al.*, 2019).

La acuicultura se desarrolla en sistemas de producción extensiva, semi intensiva e intensiva. La acuicultura intensiva se caracteriza por ser un método de crianza utilizado para producir una alta cantidad de organismos en volúmenes de agua contenidos en estanques (Azhar *et al.*, 2016). El tener una alta densidad de crías provoca uno de los mayores problemas dentro de este método, la acumulación de compuestos nitrogenados tóxicos en el agua, tal es el caso del amonio ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ) y el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (Bakar *et al.*, 2015). Existen dos tipos de amonio, el ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y el desionizado ( $\text{NH}_3$ ), juntos comprenden el nitrógeno amoniacal total (NAT) y de los cuales el amonio desionizado es el más peligroso, debido a que puede acceder libremente por las branquias de los peces hasta su interior (Lemarié *et al.*, 2004). Existe un equilibrio entre estos dos factores en el agua que está dado por la ecuación  $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{NH}_4^+$  (Lekang, 2013). Este equilibrio indica que las proporciones de cada compuesto dentro del agua están determinadas por el pH, donde la relación está determinada por la ecuación de Mosquera-Corral *et al.* (2005):

$$[\text{NH}_3]/([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+]) = 10^{\text{pH}}/(\exp((6344 / (273 + \text{temperatura})) + 10^{\text{pH}}))$$

La acumulación de nutrientes en el agua que potencialmente son tóxicos para los peces es generada por dos razones: 1) por el alimento balanceado proporcionado al sistema, que es necesario por kilo de carne producida (Crab *et al.*, 2007), no aprovechado en su totalidad y disuelto en el agua, con lo que puede dejar en ella de cuatro a ocho por ciento de nitrógeno, principalmente en forma de aminoácidos solubles (Azim & Little, 2008); y 2) por la excreción del alimento consumido, donde aproximadamente el 36 % de la alimentación consumida por los peces es excretada en forma de desecho orgánico, donde tres cuartas partes del nitrógeno y fósforo que contiene el alimento consumido se desaprovecha de esta manera, liberándose al agua de producción acuícola (Jiménez-Montealegre *et al.*, 2015).

El agua se retiene antes de su recambio en los estanques dependiendo de la resistencia de la especie, su tamaño, tasa de alimentación y al nitrógeno amoniacal total (NAT) presente (Colt, 2006), el principal factor para el recambio del agua en los estanques se



debe a la cantidad de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que contiene, ya que concentraciones mayores a 1.5 mg/L puede llegar a ser letal para la mayoría de las especies de peces (Chen *et al.*, 2006). Los recambios comúnmente sustituyen del 10 al 50 % del volumen total del agua de los estanques de producción acuícola, dependiendo del tiempo de retención que estas aguas tuvieron, desechándola o confiándola a su tratamiento por procesos físicos, químicos y biológicos para que, dependiendo de la calidad del agua obtenida después del tratamiento, esta pueda ser reutilizada para otras actividades (Jiménez-Montealegre *et al.*, 2015) o desechada a los afluentes cercanos (Crab *et al.*, 2007).

Se ha documentado que el vertimiento de aguas residuales acuícolas no tratadas a ecosistemas (principalmente lagunas costeras) generan grandes cargas de carbón orgánico disuelto (COD) y compuestos nitrogenados ( $N - \text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ,  $N - \text{NO}_3^-$  y  $N - \text{NO}_2^-$  y fósforo ( $P - \text{PO}_4^+$ ) (Crab *et al.*, 2007). Estas descargas pueden provocar alteraciones en la composición y distribución de los microorganismos, eutrofización, impactos adversos en los suelos con los que entra en contacto y en general un deterioro de ecosistemas (Martínez *et al.*, 2012; Jiménez- Montealegre *et al.*, 2015).

Los tratamientos clásicos de aguas residuales en piscicultura se enfocan principalmente en la mitigación o eliminación de componentes que visualmente se encuentran en grandes cantidades, como pueden ser coliformes y microalgas generadas (Cano, 2007; Bacaicoa, 2016) o sólidos en suspensión. Los tratamientos más comunes son a través de la sedimentación y el uso de lagunas de oxidación, donde el primero corresponde a un proceso de tratamiento de aguas de los más antiguos que permite que los nutrientes sólidos disminuyan considerablemente por la deposición de las partículas en el fondo de los sistemas, como se aprecia en pozos de agua, donde después de retener el efluente por 48 h pueden disminuir la cantidad de sólidos suspendidos hasta en un 65 % (Crab *et al.*, 2007; Wik *et al.*, 2009).

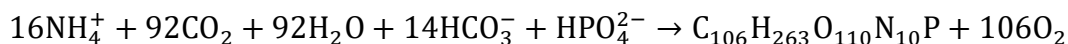
Por su parte las lagunas de oxidación son un depósito donde se retiene el agua residual para que por medio de comunidades microbianas naturales (bacterias, protozoos, virus y hongos) se realicen los procesos de biodegradación de los componentes químicos que se encuentran presentes en el agua (Amengual-Morro *et al.*, 2012). Las lagunas de oxidación se dividen en cuatro tipos: lagunas de oxidación aeróbicas, anaeróbicas, facultativas y de maduración (Butler *et al.*, 2017). Las lagunas de oxidación operan dentro de un periodo de dos días a tres semanas y pueden llegar a remover del 60 % al 95 % de la demanda biológica de oxígeno necesaria en el agua residual (U.S. EPA., 2011); la desventaja de este tratamiento son las grandes áreas que se necesita para realizarse y la inestabilidad de los tiempos de retención del agua (Mara *et al.*, 1992).



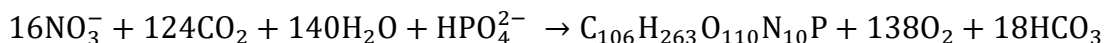
El biofloc (BFT por sus siglas en inglés) es un sistema de producción acuícola intensivo en el que se utilizan comunidades de bacterias, fitoplancton, zooplancton y protozoos para mantener las condiciones de calidad del agua en relación con la fijación y control del nitrógeno inorgánico tóxico ( $N - NH_3/NH_4^+$ ,  $N - NO_3^-$  y  $N - NO_2^-$ ) donde se genera “*in situ*” proteína microbiana que se puede aprovechar como alimento por la especie cultivada (Craig *et al.*, 2012; Emerenciano *et al.*, 2013; Monroy-Dosta *et al.*, 2013).

El biofloc ha demostrado mejorar la calidad del agua para los sistemas de producción intensiva, cuando actúa como un biorremediador que disminuye los valores de amonio, nitrito y nitrato que se encuentren en su ecosistema (Cervantes, 2016). Para la activación de las bacterias nitrificantes se requiere de un sustrato energético, que sirve para realizar los procesos metabólicos de forma constante (Serra *et al.*, 2015). Además, debido a las bacterias que proliferan dentro del biofloc, este tiene un comportamiento de exclusión, que generalmente actúa sobre las bacterias patógenas, lo que permite el crecimiento las bacterias degradadoras de compuestos nitrogenados como *Nitrobacter* sp. (Monroy-Dosta *et al.*, 2013).

Existen tres rutas para la biotransformación del amonio en un sistema acuícola: 1) Consumo por algas foto quimio autótrofas, 2) Nitrificación y nitración por bacterias autótrofas y 3) Asimilación por bacterias heterótrofas (Noga, 2010). En la primer ruta el amonio ionizado y el nitrato es ingerido por microalgas fotoautótrofas mediante el proceso de fotosíntesis, realizando la biotransformación a través del metabolismo de

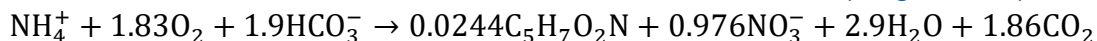


O también cuando el nitrato es la fuente, la reacción es



Donde  $C_{106}H_{263}O_{110}N_{10}P$  representa la fórmula estequiométrica del alga. Esta ruta indica que existe una relación carbono: nitrógeno: fósforo de 106:16:1 que debe adicionarse de manera exógena para cumplir los requerimientos generales del crecimiento del alga.

La segunda ruta se basa en la utilización de bacterias quimioatótrofas que puedan oxidar el amonio usando fuentes de carbón sin la necesidad de fósforo (Noga, 2010), donde

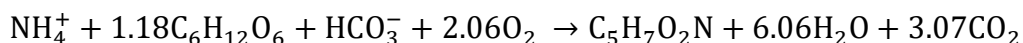


Donde  $C_5H_7O_2N$  representa la fórmula química de la biomasa.



El crecimiento en esta ruta es muy lento comparado con el anterior, debido a que se basa en el desarrollo natural de las bacterias y no requiere adición de elementos externos, además de la generación de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) como producto intermedio de la reacción metabólica (Ebeling *et al.* 2006; Noga, 2010).

La tercera ruta que aprovechan las bacterias heterótrofas es, utilizando un sustrato orgánico para asimilar el amonio en el agua mediante la siguiente ecuación:



Donde  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  representa al carbohidrato.

El sistema biofloc utiliza principalmente la base de la tercera ruta para desarrollarse, debido a su rapidez y su menor cantidad de generación de microalga que podría ser potencialmente peligrosa en la producción acuícola (Noga, 2010). A diferencia de las rutas anteriores, la tercera tiene un requerimiento mayor de oxígeno para su proceso de biotransformación. A pesar de que el cálculo estequiométrico de la tercera ruta revela que existe una relación carbono: nitrógeno de 10:1 para la adición de sustrato orgánico, diversos autores recomiendan distintas relaciones para producir biofloc llegando a tener un intervalo promedio recomendado de 10-20:1 para el C:N que se adicione (Ebeling *et al.* 2006).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización Mundial de la Salud (OMS) publicaron guías y manuales para el uso y desecho de aguas residuales (WHO, 2006; FAO, 2016), dichos manuales han sido aprovechados por los gobiernos de cada nación para establecer normativas donde se declaran los límites permisibles para los componentes que se encuentren en las descargas de aguas residuales, lo cual permite su verificación mediante el monitoreo de los efluentes que se producen, estos componentes llevan como nombre indicador de calidad (Van Den Hende *et al.*, 2016).

El uso de indicadores de calidad del agua en acuicultura permite el monitoreo de los efluentes que se producen para verificar el cumplimiento a las normas establecidas (Rojas-Rodríguez *et al.*, 2018), estos indicadores se dividen en tres tipos, indicadores físicos (temperatura, turbidez, sólidos en suspensión, color, olor, sabor y conductividad), químicos (pH, dureza, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno –DBO-, demanda química de oxígeno –DQO-, nutrientes, plaguicidas y metales pesados) y biológicos (bacterias, virus y parásitos) (Cirelli, 2012).



Los indicadores de calidad más comunes considerados para los sistemas biofloc son ([Avnimelech, 2009](#); [Emerenciano et al., 2017](#)): 1) el oxígeno disuelto (OD), valores por encima de 4 mg/L son ideales para el desarrollo de las crías de pescado, camarón y respiración microbiana; 2) la temperatura de 24 a 30 °C dependiendo de la especie, temperaturas menores a 20 °C resultan perjudicables para el desarrollo microbiano; 3) el pH,  $7\pm 1$  de acidez, valores menores pueden afectar el proceso de nitrificación y a la cría; 4) la salinidad, es posible una acumulación natural de salinidad de acuerdo a la especie de hasta 50 mg/L; 5) el nitrógeno amoniacal total (NAT), menos de 1 mg/L para la mayoría de las especies; 6) el nitrato, índice de calidad entre 0.5 a 20 mg/L; 7) el nitrito, cantidades menores a 1 mg/L para evitar la asfixia de crías; y 8) los sólidos sedimentables (SS) y los sólidos suspendidos totales (SST), debido a que altos niveles de sólidos suspendidos contribuirán al consumo de OD por las comunidades heterótrofas y la oclusión de branquias.

El incumplimiento de las normas dedicadas al desecho de aguas residuales en acuicultura, especialmente las establecidas para controlar los niveles de nitrógeno en las descargas acuícolas se ha vuelto una problemática a nivel mundial ([Zhu et al., 2015](#)), por tal motivo el estudio de procesos naturales para diseñar sistemas de tratamientos de aguas residuales se convirtió en una de las metas principales para la acuicultura responsable que permita aprovechar al máximo la materia prima y provocar un impacto nulo al ambiente ([Bacaicoa, 2016](#); [Crab et al., 2007](#)).

### **Biorremediación en los tratamientos de aguas residuales**

En la actualidad, el desarrollo de los tratamientos de aguas residuales se ha enfocado en la temática de la biorremediación debido a las ventajas que presenta. La biorremediación es un proceso donde se utilizan las habilidades catalíticas de los organismos vivos para degradar y/o transformar contaminantes que se encuentran dentro de ecosistemas terrestres, aéreos y acuáticos en mayor o menor escala, presenta un enorme potencial en la mitigación de contaminación ambiental debido a la capacidad de reingresar los contaminantes ya transformados a los ciclos bioquímicos naturales ([Garbisu, 2002](#)). Una de las principales razones por las que se utiliza la biorremediación en el tratamiento de efluentes acuícolas es el aprovechamiento de los nutrientes que se encuentran en estos, utilizando mecanismos naturales de filtración para su tratamiento, tales como: plantas, animales, bacterias o algas ([Cervantes, 2016](#)).

Se han realizado estudios utilizando desde organismos filtradores hasta materiales biológicos para promover la biorremediación de los efluentes acuícolas, cada una de las técnicas empleadas ha presentado diversos resultados y la estandarización de las técnicas no ha podido establecerse del todo, dada la complejidad de los sistemas y las variables biológicas, fisicoquímicas del agua y ambientales que se presentan. Ejemplos



de ellos son los trabajos presentados por [Parada et al. \(2008\)](#), donde lograron disminuir en un 90 % la concentración de SST, fósforo total, nitrito y demanda química de oxígeno con respecto al contenido total del efluente en cultivos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) durante un periodo de 60 días, utilizando como medio filtrante a la almeja de agua dulce (*Diplodon chilensis*); el de [Jiménez- Montealegre et al. \(2015\)](#), que inocularon bacterias para el desarrollo de tapetes microbianos y analizaron la eficiencia de biorremediación por el efecto del flujo de agua sobre las biopelículas en aguas de cultivo de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), reportando reducción de 2, 4 y 6 partes porcentuales entre el amonio ( $N-NH_4^+$ ,  $N-NH_3$ ), nitritos ( $N-NO_2^-$ ) y nitratos ( $N-NO_3^-$ ) iniciales, con los finales.

Dentro del uso de materiales inertes u orgánicos para el establecimiento de bacterias desnitrificadoras, se puede destacar el trabajo de [Lepine et al. \(2016\)](#), donde se basaron en el sistema de retención hidráulica para el tratamiento de aguas residuales, utilizando virutas de madera con distintos tiempos de retención, logrando una remoción de nitrógeno del 65 % en 10 horas de retención, además, en tiempos de retención mayores se descubrió una reducción significativa de sulfatos en la composición química del agua.

La aplicación de la biorremediación en los tratamientos de aguas residuales ha demostrado ser un sistema efectivo para el aprovechamiento de los nutrientes acumulados, pudiendo evitar la eutrofización del efluente acuícola. La biorremediación, al estar enfocada en atacar un problema, posee un alto intervalo de aplicaciones y una gran variedad de métodos para solucionar los problemas, y su estudio permite el aprovechamiento de los actuales y potenciales recursos acuícolas.

### **Aprovechamiento de biorreactores floculantes**

Los reactores floculantes se basan en el principio de los consorcios microbianos, los cuales son una unión natural de dos o más poblaciones microbianas de diferentes especies, que actúan a la par como una comunidad dentro de un sistema donde se pueden beneficiar de las actividades de los demás ([Ochoa & Montoya, 2010](#)), por lo que los organismos dentro de los consorcios microbianos aprovechan los productos de las reacciones metabólicas presentes para realizar las suyas. Organismos como las cianobacterias y bacterias, se encuentran comúnmente en los biorreactores floculantes, aunque también puede contener pequeñas cantidades de rotíferos, ciliados y precipitados donde su crecimiento depende directamente de los nutrimentos que se presenten en el agua, a mayor cantidad de compuestos químicos como nitrógeno y fósforo que puedan metabolizar, mayor cantidad de flóculos se genera.

El uso de estos sistemas se debe principalmente al aprovechamiento de los flóculos como sustituto parcial del alimento balanceado, compostaje y biotransformación en gas



combustible (Van Den Hende *et al.*, 2014; Sfez *et al.*, 2015). Se han probado dentro de estos sistemas el uso de reactores externos tipo Batch para tratar los efluentes con compuestos nitrogenados, como en sistemas camaronícolas, donde se ha llegado a encontrar que una proporción de alimentación de 10:1 en carbono: nitrógeno para los lodos obtenidos de filtros de producción en estanques con camarón es significativamente más eficiente en la disminución de compuestos nitrogenados que otras proporciones mayores o menores de carbono, con hasta un 91% de remoción, esto bajo temperaturas y salinidades específicas (28-40 ups de salinidad y 22-37 °C) (Fontenot *et al.*, 2007).

En un trabajo posterior, donde se utilizaron reactores batch, se encontró que, con un tratamiento basado en la biofloculación con bacterias y microalga, la producción de biomasa fue superior a reactores no batch, así mismo, estos realizaban la biotransformación de amonio suficiente para que la descarga de sus aguas fuera adecuada a la normatividad vigente, aunque no se llegaba a tener los límites permisibles para nitratos y nitritos (Van Den Hende *et al.*, 2014). La biomasa producida por estos reactores puede ser utilizada como sustituto de alimento balanceado de un 2 a un 4 % camarones *Litopenaeus vannamei* sin que se afecte su supervivencia, ganancia de peso y su distribución de tamaños (Van Den Hende *et al.*, 2016).

Sfez *et al.* (2015) diseñaron un sistema similar para el manejo de efluentes y recirculación de agua en la producción intensiva de lucioperca (*Sander lucioperca L.*) a escala piloto e industrial con camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), con el fin de utilizar los flóculos obtenidos como generadores de biogás o como alimento, los resultados del trabajo arrojaron que se mejoró el aprovechamiento de los nutrientes en el efluente de la producción de camarón con un 67 % después de 8 días, además, que la mejor forma de aprovechar los flóculos de microalga es utilizándolas como alimento, debido a que el gasto de energía para calentar el gas que se obtiene con estas lo hace una opción no tan viable.

La utilización de biorreactores floculantes permite la biotransformación de los nutrientes generando fitoplancton en el cual, consorcios microbianos pueden desarrollarse, los flóculos resultantes pueden ser aprovechados para su utilización como alimento para las crías acuícolas, fertilizante enriquecido y hasta la extracción de alcoholes derivados de los flóculos (Van Den Hende *et al.*, 2016). Sin embargo, esta biotransformación depende no solo del tipo de sistema empleado, sino también de las condiciones ambientales que les afectan. Por ejemplo, se ha demostrado que la eliminación de nitrógeno en aguas residuales de acuicultura utilizando efluentes que contienen compuestos orgánicos en biorreactores es más eficiente si estos son expuestos a iluminación, donde no solo se puede lograr un mayor rendimiento en la desnitrificación (92.2 %) respecto a los no



iluminados (87.5 %), sino que se promueve la generación de microbiota más compleja como rotíferos y nematodos (Li *et al.*, 2019).

Los biorreactores floculantes, al tener como tarea principal la generación de flóculos, dejan como secundario el tema de la reducción de los agentes contaminantes en las aguas residuales acuícolas, por lo que no se recomendaría del todo o como única opción de su uso para un sistema de biorremediación de nutrientes acuáticos.

### **Uso de biopolímeros**

Los sistemas de tratamiento con biopolímeros son un método novedoso de eliminación de nutrientes que utiliza el principio de la desnitrificación microbiana heterotrófica, en la cual se utilizan compuestos nitrogenados como receptor de electrones del carbono orgánico donador, transformando los compuestos nitrogenados a estructuras básicas (Liu *et al.*, 2018).

Se ha usado el polisuccinato de butileno, que es un polímero biodegradable que sirve como fuente de carbono el cual se ha demostrado puede ser un recurso aceptable de carbón para la desnitrificación de aguas subterráneas (Bucco *et al.*, 2014), para que en conjunto con un tapete microbiano pueda ser utilizado como una opción para el tratamiento de aguas acuícolas y su posible recirculación, se encontró que se conseguía una remoción de nitratos más estable, con un 90 % de remoción total, pero existieron efectos adversos tales como el excesivo efluente de carbón orgánico disuelto (COD) y una actividad de conversión de nitritos y nitratos en amonio, por lo que los investigadores concluyen que aunque es un sistema con excelente capacidad de desnitrificación es necesario conocer y desarrollar más el uso de estos para la correcta eliminación de carbono (Zhu *et al.*, 2015). Liu *et al.* (2018) adicionaron bambú en polvo al polisuccinato de butileno con lo que disminuyeron la acumulación de compuestos nitrogenados y compuestos orgánicos disueltos (COD), mejorando significativamente el uso del polímero en solitario.

El uso del polisuccinato de butileno como biotransformador de compuestos nitrogenados es un sistema actual que no ha sido muy investigado, sin embargo, se ha demostrado que tiene la capacidad de reducir efectivamente las concentraciones de compuestos nitrogenados, la desventaja de este método está en el propio polímero, el cual es de costo elevado, lo que lleva a la necesidad de combinar pequeñas cantidades del polímero con una alimentación natural de carbono.

### **La tecnología biofloc**

Se considerada como la alternativa bioeconómicamente rentable que promueve sistemas más eficientes y de alta productividad, ya que a través de ella se aprovechan los recursos,



se mejora la calidad y disminuye el consumo de agua, así como también se promueve la mejora de los parámetros de producción de los organismos, lo que le confiere a este proceso operar redituable y sosteniblemente.

[Avnimelech \(1999\)](#), basa esta tecnología en el supuesto de que el desarrollo acuícola debe aprovechar los recursos eficientemente para producir más, sin aumentar significativamente el uso de sus componentes naturales básicos, como el agua y la tierra, y proporcionando una relación costo beneficio razonable que sea sostenible económica y socialmente. El biofloc es un agregados de algas, bacterias, protozoos y otras clases de materiales orgánicos, que se mantiene unido por una matriz de mucosidad que es secretada por las bacterias, microorganismos filamentosos o por atracción electrostática ([Avnimelech, 2011](#)), que actúa como una trampa para la retención de nutrientes en cuerpos de agua susceptibles a la acuicultura, lo que disminuye los costos de mantenimiento de los mismos ya que sirve como complemento alimenticio de los organismos y a mejorar las tasas de aprovechamiento de los alimentos ([Azim & Little, 2008](#)).

Los componentes que promueven el desarrollo del biofloc permiten el crecimiento de la comunidad microbiana ([Monroy-Dosta et al., 2013](#)) y partiendo de ella una cadena de microorganismos que conforman una comunidad, que en su composición se ha llegado a registrar la presencia de microalgas, zooplancton, coloides, polímeros orgánicos, cationes y células muertas ([Avnimelech, 2007](#); [Monroy-Dosta et al., 2013](#)) y que de acuerdo con diversos autores, su aparición y diversificación depende de las condiciones y el medio en que se desarrolla, tales como la temperatura, intensidad de luz, relación C:N, especie cultivada, origen de los recursos, entre otros, los cuales tienen influencia directa sobre los grupos de organismos que se desarrollan ([Azim & Little, 2008](#); [Monroy-Dosta et al., 2013](#)).

De acuerdo de las características de los sistemas, el manejo y la finalidad del sistema existen diversos reportes de proporciones de carbono : nitrógeno que van desde 10 a 1 hasta las 22 partes de carbono por una de nitrógeno ([Avnimelech, 1999](#); [Wang et al., 2015](#); [Pérez-Fuentes et al., 2016](#); [Lovera et al., 2018](#)). Por lo que la transformación de los compuestos nitrogenados a formas más simples y utilizables generará su incorporación a la biomasa microbiana y fitoplanctónica, que será consumida por el zooplancton, estos a su vez por protozoos y a su vez estos por zooplancton de mayor tamaño, enriqueciendo en cada ocasión el nivel trófico subsecuente de energía y materia orgánica, hasta que sea consumido como un conjunto de flóculos por el organismo de interés o se disponga esta biomasa para algún fin particular.



De los principales beneficios del biofloc es la biotransformación de los compuestos nitrogenados que pueden ocasionar daños a los organismos de cultivo en la acuicultura. Aunque el nitrógeno no siempre se presenta en forma de compuestos tóxicos, sus distintas formas en los sistemas acuícolas provienen de fuentes externas como el alimento no consumido, heces, organismos muertos y de la atmósfera (Siggie, 2005; Ebeling, 2006; Abakari *et al.*, 2020). El nitrógeno incorporado a la columna de agua como amoníaco, nitrito o nitrato, en los sistemas acuícolas con biofloc la biotransformación de estos compuestos se da generalmente dentro del mismo sistema, junto a los organismos de interés comercial, con la finalidad de implementar sus capacidades de biotransformación para mantener *in situ* la calidad de agua y proveer alimento complementario; el uso del biofloc como reactor de transformación de compuestos, independiente al sistema de cultivo, no ha sido muy explorado, más puede ser una alternativa para que los efluentes acuícolas se biotransformen rápidamente y sus subcompuestos puedan ser utilizados en la misma cadena de producción.

Existen muchas y diversas investigaciones donde se menciona la eficiencia del biofloc para el control de compuestos nitrogenados desde el punto de vista de producción, entre los cuales se aporta información esperanzadora para la biotransformación externa de estos componentes. Uno de los componentes principales dentro del biofloc son las bacterias heterótrofas desnitrificadoras, que permiten realizar transformación de las diferentes fracciones del nitrógeno y con ello promover sistemas con calidad de agua adecuada, al igual que en los reactores batch, la proporción de carbono: nitrógeno (C:N) es esencial para el funcionamiento de estos sistemas, por lo cual se ha encontrado en la producción de organismos, tanto con crustáceos (*Litopenaeus vannamei*) como con peces (*Oreochromis niloticus*), que la proporción debe oscilar entre 10/20:1 de C:N (Xu *et al.*, 2016; Pérez-Fuentes *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017; Panigrahi *et al.*, 2018). La proporción de C:N está íntimamente ligada al metabolismo y cantidad de bacterias, lo que se refleja en que una vez que el biofloc se encuentra en un estado maduro en su comunidad microbiana, las concentraciones de NAT pueden ser controladas por la asimilación heterotrófica y quimiotrófica (Xu *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONES

A través de la información antes planteada se puede mencionar que con el paso de los años la importancia por una mejora en la calidad del efluente acuícola ha generado ideas que hoy en día permiten tener una variedad de elección en los sistemas de tratamiento de aguas y sus combinaciones, por lo que el nivel de producción, dimensiones de los sistemas y características biológicas del organismo acuático son los principales factores en los que pensar para elegir un tratamiento correcto.

Sin embargo, ninguno de estos tratamientos por si solo ha demostrado funcionar al 100 %, debido a que es muy difícil cumplir con todo el espectro de indicadores físicos,



químicos y biológicos de calidad de agua en un solo paso. Así mismo, el uso o combinación de más de una de estas alternativas, junto con alternativas físicas como la sedimentación, podrían llegar a funcionar como un sistema de poco espacio, poco tiempo y alta eficiencia biotransformadora, que permita que los efluentes acuícolas puedan ser reutilizados o desechados sin cargas importantes de nutrientes o sedimentos que afecten a los ecosistemas y sistemas de producción agropecuarios cercanos a ellos.

La necesidad por cuidar el medio ambiente que nos rodea es vital para nuestro avance y crecimiento como seres humanos, hoy en día la investigación y el desarrollo de tratamientos de aguas residuales se ha ido mejorando con el fin de poder aprovechar inclusive los desechos resultantes del tratamiento. Sistemas como la tecnología biofloc podrían ser una opción ideal para efluentes de la industria acuícola debido a su capacidad de biotransformación de los nutrientes del agua y los usos que la biomasa generada podría tener. Se requiere generar más información sobre la utilización del biofloc como un biorreactor externo a los sistemas de producción, sus posibles combinaciones con otros tipos de procesos biotransformadores y la manera en que se pueda estandarizar esto para generar un método replicable en cualquier tipo de producción acuícola.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo al presente trabajo a través de la beca de posgrado del Químico Edgar González. A los Laboratorios de la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR+) y al Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN).

### LITERATURA CITADA

ABAKARI G, Luo G, Kombat EO. 2020. Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: *A review. Aquaculture and Fisheries*. 6 (5): 441-447. ISSN: 2668-550X. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.005>

AMENGUAL-MORRO C, Niell GM, Martínez-Taberner A. 2012. Phytoplankton as bioindicator for waste stabilization ponds. *Journal of Environmental Management*. 95: S71-6. ISSN: 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.008>

AVNIMELECH Y. 1999. Carbon: nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*. 176 (3-4): 227-235. ISSN: 0044-8486. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X)

AVNIMELECH Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*. 264:140–147. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>



AVNIMELECH Y. 2009. Biofloc Technology – A practical Guidebook. EUA, Third edition. The World Aquaculture Society. Pp. 272-273. ISBN: 978-1888807226. <https://1lib.mx/book/5503837/ce4a50>

AVNIMELECH Y. 2011. Tilapia Production Using Biofloc Technology. Saving Water, Waste Recycling ImproÚltimaonomics. *Global Aquaculture Alliance*. Pp. 66-68. ISBN: 976188807165. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/tilapia-production-using-biofloc-technology/?headlessPrint=AAAAPIA9c8r7gs82oWZBA>

AZHAR MH, Supriyono E, Nirmala K, Ekasari J. 2016. Organic carbon source and C/N ratio affect inorganic nitrogen profile in the biofloc-based culture media of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). ILMU KELAUTAN Indonesian. *Journal of Marine Sciences*. ISSN: 2661-3239. 21(1): 23-28. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.21.1.23-28>

AZIM ME, Little DC. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 283 (1): 29-35. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>

BACAICOA RC. 2016. Integración de la técnica de depuración de aguas residuales mediante humedales con los sistemas de recirculación para la acuicultura. *Revista AquaTIC*. 37. España. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49425906001>

BAKAR NSA, Nasir NM, Lananan F, Hamid SHA, Lam SS, Jusoh A. 2015. Optimization of C/N ratios for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish (*Clarias gariepinus*) utilizing Bioflocs Technology. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 102:100-106. ISSN: 0964-8305. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.001>

BUCCO S, Padoin N, Netto WS, Soares HM. 2014. Drinking water decontamination by biological denitrification using fresh bamboo as inoculum source. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 37(10): 2009-17. ISSN: 1615-7605. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1176-7>.

BUTLER E, Hung YT, Al Ahmad MS, Yeh RYL, Liu RLH, Fu YP. 2017. Oxidation pond for municipal wastewater treatment. *Applied water science*. 7(1):31-51. ISSN: 2190-5495. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0285-z>

CANO R. 2007. Tratamiento de aguas residuales en acuicultura. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*. 48. Colombia. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1590>



CERVANTES S. 2016. Evaluación de tres fuentes de carbono a base de melaza y harina de trigo en la calidad del Biofloc en el crecimiento de tilapia Nilótica *Oreochromis niloticus*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nayarit, Posgrado en ciencias biológico, agropecuarias y pesqueras, Tepic, Nayarit, México. Pp. 44.  
<http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/1338>

CHEN S, Ling J, Blancheton JP. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*. 34(3): 179-97. ISSN: 0144-8609.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>

CIRELLI AF. 2012. El agua: un recurso esencial. *Química viva*. 11(3): 147–170. E-ISSN: 1666-7948. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>

COLT J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*. 34(3): 143-56. EUA. ISSN: 0144-8609. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.011>

CRAB R, Avnilemech Y, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*. 270(1-4): 1-14. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>

CRAIG LB, Andrew JR, John WL, Avnimelech Y. 2012. Biofloc-based Aquaculture Systems: Aquaculture Production Systems. *James H Tidwell*. Pp. 278-306. ISBN: 9780813801261. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch12>

EBELING JM, Timmons MB, Bisogni JJ. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*. 257(1-4):346-358. ISSN: 0044-8486.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

EMERENCIANO M, Gaxiola G, Cuzon G. 2013. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. Biomass now-cultivation and utilization. *First Edition*. Pp. 301-328. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/53902>

EMERENCIANO M, Martínez-Córdova, Martínez-Porchas, Miranda-Baeza. 2017. Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture, Water Quality. *First Edition*. Pp. 91-109. IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/66416>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. El Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO, Roma, Italia, Pp. 34. <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/466050/>

FONTENOT Q, Bonvillain C, Kilgen M, Boopathy R. 2007. Effects of temperature, salinity, and carbon: nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater. *Bioresource Technology*. 98(9): 1700-1703. ISSN: 0960-8524.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.031>.



GARBISU C, Amézaga I, Alkorta I. 2002. Biorremediación y Ecología. *Ecosistemas*. 11(3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/591/558>

JIMÉNEZ-MONTEALEGRE R, Zamora-Castro J, Zúñiga-Calero G. 2015. Determinación del flujo de agua para la biorremediación en sistemas recirculados acuaculturales utilizando tapetes microbianos construidos. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 43(1):234-47. ISSN: 0718-560X. <http://dx.doi.org/10.3856/vol43-issue1-fulltext-20>

LEKANG OI. 2013. *Aquaculture Engineering*. Second Edition Chichester. Reino Unido. Pp. 179-189. Willey-Blackwell. ISBN: 9781118496077. <https://doi.org/10.1002/9781118496077>

LEMARIÉ G, Dosdat A, Covés D, Dutto G, Gasset E, Person-Le Ruyet J. 2004. Effect of chronic ammonia exposure on growth of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*. 229(4): 479-491. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00392-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00392-2)

LEPINE C, Christianson L, Sharrer K, Summerfelt S. 2016. Optimizing hydraulic retention times in denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system wastewater. *Journal of Environment Quality*. 45(3): 813. ISSN: 1537-2537. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.05.0242>

LI C, Li J, Liu G, Deng Y, Zhu S, Ye Z, Liu D. 2019. Performance and microbial community analysis of combined denitrification and biofloc technology (CDBFT) system treating nitrogen-rich aquaculture wastewater. *Bioresource Technology*. 288: 121-582. ISSN: 0960-8524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121582>

LIU D, Li J, Li C, Deng Y, Zhang Z, Ye Z, Zhu S. 2018. Poly (butylene succinate)/bamboo powder blends as solid-phase carbon source and biofilm carrier for denitrifying biofilters treating wastewater from recirculating aquaculture system. *Scientific Reports*. 8(1): 3289. ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21702-5>

LIU Y, Li J, Feng J, Liu Q, Nan F, Xie S. 2019. Treatment of real aquaculture wastewater from a fishery utilizing phytoremediation with microalgae: microalgae-based real aquaculture wastewater treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 94(3): 900-910. ISSN: 1097-4660. <https://doi.org/10.1002/jctb.5837>

LOVERA KPZ, Brito LO, Arana LAV, Galvez AO, Cárdenas JMV. 2018. Cultivo de alevinos de tilapia em sistema de bioflocos sob diferentes relações carbono/nitrogênio. *Boletim do Instituto de Pesca*. 43(3): 399-407. ISSN: 1678-2305. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p399>

MARA D, Mills S, Pearson H, Alabaster G. 1992. Waste stabilization ponds, a viable alternative for small community treatment systems. *Water and Environment Journal*. 6:72-78. ISSN: 1747-6593. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1992.tb00740.x>



MARTÍNEZ C, Martínez P, López E, Campaña T, Miranda B, Ballester E, Porchas C, Martínez-Córdova L. 2012. Avances en nutrición Acuícola: Memorias del X Simposio Internacional de Alimento natural en acuicultura: Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. Pp. 668-699.

[https://www.researchgate.net/publication/237377591\\_Alimento\\_natural\\_en\\_acuicultura\\_una\\_revisi3n\\_actualizada](https://www.researchgate.net/publication/237377591_Alimento_natural_en_acuicultura_una_revisi3n_actualizada)

MONROY-DOSTA M, Lara-Andrade D, Castro-Mejía J, Castro-Mejía G, Coelho-Emerenciano G. 2013. Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de biología marina y oceanografía*. 48(3): 511-520. ISSN: 0718-1957. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000300009>

MOSQUERA-CORRAL A, Campos F, Méndez R. 2005. Partial nitrification in a SHARON reactor in the presence of salts and organic carbon compounds. *Process Biochemistry*. 40:3109-3118. ISSN: 1359-5113.

<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.042>

NOGA EJ. 2010. Fish Disease Diagnosis and Treatment. *Second edition*. Pp. 257-285. Wiley-Blackwe.

[https://books.google.es/books?id=K5HDwAAQBAJ&lpg=PR9&ots=l\\_1MSAcYx8&dq=Fish%20Disease%20Diagnosis%20and%20Treatment&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Fish%20Disease%20Diagnosis%20and%20Treatment&f=false](https://books.google.es/books?id=K5HDwAAQBAJ&lpg=PR9&ots=l_1MSAcYx8&dq=Fish%20Disease%20Diagnosis%20and%20Treatment&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Fish%20Disease%20Diagnosis%20and%20Treatment&f=false)

OCHOA CDC, Montoya RA. 2010. Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. Bogotá, CO. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*. 18(2): 60. ISSN: 0121-6805. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90920053003>

PANIGRAHI A, Saranya C, Sundaram M, Kannan SV, Das R, Kumar S, Otta K. 2018. Carbon: Nitrogen (C:N) ratio level variation influences microbial community of the system and growth as well as immunity of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc based culture system. *Fish and shellfish immunology*. 81: 329-337. ISSN: 1050-4648. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.07.035>

PARADA E, Peredo S, Cárdenas S, Valdebenito I, Peredo M. 2008. *Diplodon chilensis* gray, 1828 (bivalvia: hyriidae) a potential residual waters depurator on inland water salmonid fish-farms: a laboratory scale study. *Gayana (Concepción)*. 72(1): 68-78. ISSN 0717-652X. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382008000100009>

PÉREZ-FUENTES A, Hernández-Vergara P, Pérez-Rostro I, Fogel I. 2016. C: N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*. 452:247-251. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.010>



PIEDRAHITA H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226(1-4):35-44. ISSN: 0044-8486. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)

ROJAS-RODRÍGUEZ IS, Salazar-Solano V. 2018. La acuicultura frente a los impactos de la actividad agrícola en la calidad de los servicios ambientales de la cuenca del río mayo. Una propuesta para su abordaje desde la economía ecológica. *Estudios sociales (Hermosillo, Sonora)*. 28(51). ISSN: 0188-4557. <https://doi.org/10.24836/es.v28i51.507>

SERRA P, Gaona A, Furtado S, Poersch H, Wasielesky W. 2015. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture international*. 23(6):1325-1339. ISSN: 1573-143X. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9887-6>

SFEZ S, Van Den Hende S, Taelman E, De Meester S, Dewulf J. 2015. Environmental sustainability assessment of a microalgae raceway pond treating aquaculture wastewater: from up-scaling to system integration. *Bioresource Technology*. 190:321-31. ISSN: 0960-8524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.088>

SIGEE DC. 2005. Freshwater microbiology: Biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment. John Wiley & Sons Ltd. Pp. 544. ISBN: 0471485284. <https://doi.org/10.1002/0470011254>

SILVA L, Falcon R, Pessôa C, Correia S. 2017. Carbon sources and C: N ratios on water quality for Nile tilapia farming in biofloc system. *Revista Caatinga*. 30(4): 1017-1027. ISSN: 0100-316X. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n423rc>

U.S. EPA (*Environmental Protection Agency*). Exposure Factors Handbook0. 2011 Edition (Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington. DC. EPA/600/R-09/052F. 2011. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>

VAN DEN HENDE S, Beelen V, Bore G, Boon N, Vervaeren H. 2014. Up-scaling aquaculture wastewater treatment by microalgal bacterial flocs: from lab reactors to an outdoor raceway pond. *Bioresource Technology*. 159:342-54. ISSN: 0960-8524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.113>

VAN DEN HENDE S, Claessens L, De Muylder E, Boon N, Vervaeren H. 2016. Microalgal bacterial flocs originating from aquaculture wastewater treatment as diet ingredient for *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*. 47(4):1075-89. ISSN: 1365-2109. <https://doi.org/10.1111/are.12564>

WANG G, Yu E, Xie J, Yu D, Li Z, Luo W Zheng Z. 2015. Effect of C/N ratio on water quality in zero-water exchange tanks and the biofloc supplementation in feed on the growth performance of crucian carp, *Carassius auratus*. *Aquaculture*. 443: 98-104. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.015>



WHO (World Health Organization). 2006. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 1. Recommendations: addendum, 3rd ed. World Health Organization. ISBN: 9241546743. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43242>

WIK E, Lindén T, Wramner I. 2009. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*. 287(3-4): 361-370. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.056>

XU WJ, Morris TC, Samocha TM. 2015. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*. 453: 169-175. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.021>

ZHU M, Deng L, Ruan J, Guo S, Shi M, Shen Z. 2015. Biological de-nitrification using poly (butylene succinate) as carbon source and biofilm carrier for recirculating aquaculture system effluent treatment. *Bioresour. Technol.* 192: 603-610. ISSN: 0960-8524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.021>

#### [Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-12. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.1>

Nota de Investigación. Recibido:31/05/2023. Aceptado:13/12/2023. Publicado:16/01/2024. Clave: e2023-16.

<https://www.youtube.com/watch?v=EQk9KZbxaVI&t=32s>

## Plaguicidas detectados en suelo de colonias de *Cynomys mexicanus* en San Luis Potosí y Zacatecas, México

Quantification of pesticide residues in soil of *Cynomys mexicanus* habitat in San Luis Potosi and Zacatecas, Mexico



Cano-García Arely<sup>ID</sup>, Cerna-Chávez Ernesto\*<sup>ID</sup>, Ceballos-Ceballos Augusto<sup>ID</sup>,  
Ochoa-Fuentes Yisa<sup>ID</sup>

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola, Saltillo, Coahuila, México. \*Autor de correspondencia: Ernesto Cerna Chávez, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista; C.P. 25315; Saltillo, Coahuila, México. E-mail: biologia.fac@outlook.com, jabaly1@yahoo.com, ceballos\_91@outlook.com, yisa8a@yahoo.com

### RESUMEN

El perrito de la pradera (*Cynomys mexicanus*) es un roedor endémico de los pastizales del Norte de México, considerada una especie clave para el mantenimiento de su ecosistema. La principal problemática a la que enfrenta es el aumento de la frontera agrícola, por lo que se encuentra en constante exposición a productos químicos utilizados en zonas de cultivo cercanas, como los plaguicidas. El objetivo de este estudio fue detectar y cuantificar residuos de plaguicidas en muestras de suelo de colonias de *C. mexicanus* de los estados de Zacatecas y San Luis Potosí. Se analizaron un total de 5 muestras de suelo y se analizaron por medio de la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC). Se detectaron ocho plaguicidas presentes en el 100% de las muestras analizadas, de los cuales el glifosato y el metamidofos tuvieron concentraciones mayores, de hasta 5.5 mg/g y 4.8 mg/g respectivamente. Los resultados muestran que en el suelo se encuentran altas concentraciones de los plaguicidas mencionados comparadas con las detectadas en otros estudios y mayores a la DL<sub>50</sub> establecida para ambos. Por lo que el suelo es una fuente de exposición importante y medio para la entrada hacia el organismo de *C. mexicanus*.

**Palabras clave:** suelo, plaguicidas, *Cynomys mexicanus*, cromatografía líquida de alta eficiencia, glifosato.

### ABSTRACT

The prairie dog (*Cynomys mexicanus*) is an endemic rodent of the grasslands of northern Mexico, considered a keystone species for the maintenance of its ecosystem. The main problem it faces is the increase in the agricultural frontier, which means that it is constantly exposed to chemical products used in nearby farming areas, such as pesticides. The objective of this study was to detect and quantify pesticide residues in soil samples of *C. mexicanus* colonies from the states of Zacatecas and San Luis Potosí. A total of 5 soil samples were analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Eight pesticides were detected in 100% of the samples analyzed, of which glyphosate and methamidophos had higher concentrations, up to 5.5 mg/g and 4.8 mg/g respectively. The results show that high concentrations of the mentioned pesticides are found in the soil compared to those detected in other studies and higher than the DL<sub>50</sub> established for both. Therefore, soil is an important source of exposure and means of entry into the organism of *C. mexicanus*.

**Keywords:** soil, pesticides, *Cynomys mexicanus*, high efficiency liquid chromatography, glyphosate.



## INTRODUCCIÓN

El consumo de plaguicidas en México ha aumentado drásticamente, entre los años 2000 y 2016 aumentó entre 57-65%, para el año 2017 se calcula que se produjeron más de 106 000 toneladas de plaguicidas, siendo los fungicidas los de mayor producción, seguido de los insecticidas y por último los herbicidas (Moo-Muñoz *et al.*, 2020). El aumento en la demanda de estos productos han provocado su producción masiva, refleja el uso en exceso por parte de los productores, provocando la contaminación de los ecosistemas cercanos (Blanco *et al.*, 2020). Los plaguicidas de acuerdo con su composición química mantienen ciertas propiedades como la persistencia, bioacumulación y biomagnificación, toxicidad y volatilidad. Debido a esto pueden transportarse a sitios distintos a los de su aplicación y pueden permanecer presentes en suelo, cuerpos de agua, pueden bioacumularse en plantas y en los tejidos de los animales y pueden biomagnificarse por medio de la cadena alimentaria (Cantú *et al.*, 2019; Flores *et al.*, 2018; García *et al.*, 2018).

Al tener la capacidad de acumularse en el organismos de los animales, los plaguicidas pueden causar daños en sus funciones como la termorregulación, el comportamiento (forrajeo), la capacidad de aprendizaje y reproducción, principalmente en aves y mamíferos (Chi-Coyoc *et al.*, 2016). Además puede suprimir el sistema inmune, provocar malformaciones en los fetos, provocar disrupción endócrina y puede llegar a provocar la muerte en caso de intoxicaciones agudas (Blanco *et al.*, 2020). Por otro lado puede causar un impacto en la dinámica poblacional, ya que la alteración de los procesos mencionados llegan a reducir las tasas de sobrevivencia, disminuyendo así las poblaciones de fauna silvestre (Badii *et al.*, 2006). Existe evidencia de la presencia de plaguicidas en animales, se han encontrado residuos de DDT en tejidos de ballenas, delfines y lobos marinos. En huevos de tortugas y sangre de cocodrilo se ha detectado dieldrín, en plumas y huevos de aves se ha detectado DDE,  $\Sigma$ HCH y  $\Sigma$ endosulfán (García *et al.*, 2018). En algunos mamíferos pequeños como los ratones se han detectado organoclorados como el DDT (Chi-Coyoc *et al.*, 2016).

Uno de los animales que se encuentran en contacto directo con los plaguicidas es el perrito de pradera mexicano (*Cynomys mexicanus*), es un roedor diurno característico de los pastizales, es endémico del norte de México y se encuentra en peligro de extinción de acuerdo con la NOM059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

El perrito de la pradera mexicano se considera una especie clave para el mantenimiento de su ecosistema ya que aporta distintos beneficios en su hábitat. Por medio de la construcción de sus madrigueras aumentan la capacidad de infiltración del agua, la oxigenación y la incorporación de la materia orgánica, mantienen la altura de la vegetación propicia para otras especies de pastizal como las aves. Actualmente las poblaciones se encuentran amenazadas debido al aumento de la frontera agrícola, el área de distribución ha disminuido drásticamente hasta un 73% en comparación de su



distribución histórica (SEMARNAT, 2018). La distribución de esta especie se encuentra restringida a un área donde convergen los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. Los estados de San Luis y Zacatecas son los que cuentan con un menor número de colonias, hasta el 2008 se reportaban 12 colonias activas en San Luis Potosí y en Zacatecas se consideraba extinta, pero se reintrodujo y actualmente se encuentra una colonia activa (Carrera, 2008; Medellín & Bárcenas, 2021). Debido a que las colonias se encuentran frecuentemente cercanas a las zonas de cultivo resulta de gran importancia detectar si en el suelo donde se encuentran sus madrigueras hay presencia de plaguicidas así como determinar la concentración de la sustancia, con el fin de analizar si se puede considerar como un factor para la disminución de las poblaciones.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en mayo de 2022, de acuerdo a la ubicación de las colonias de los estados de Zacatecas y San Luis Potosí (Carrera, 2008), se determinaron dos puntos de muestreo en el estado de Zacatecas en el ejido Tanque Nuevo, se tomó como referencia los reportes de PROFUAUNA A.C. para la ubicación ya que en este estado la especie ya se consideraba extinta, el muestreo se realizó en una colonia de reciente reintroducción. Para San Luis Potosí se muestrearon tres colonias ubicadas dentro del municipio de Vanegas, dos en la localidad de El Gallo y una en la localidad de Vanegas (Tabla 1). Debido a que la mayoría de las colonias de San Luis Potosí se encuentran dentro de ranchos privados, no fue posible tener acceso a todas las colonias, se tienen reportadas un total de 12 colonias en el estado (Carrera, 2008; Medellín & Bárcenas, 2021).

**Tabla 1. Coordenadas UTM de los sitios de muestreo de suelo, en colonias de perrito de la pradera mexicano en los estados de Zacatecas y San Luis**

Estado	Muestra	X	Y
Zacatecas	M1 Tanque Nuevo	290829.25	2698473.02
Zacatecas	M2 Tanque Nuevo	290985.00	2696484
San Luis Potosí	M1 Gallo1	306681.8	2679409.4
San Luis Potosí	M2 Gallo 2	306715.1	2677716.5
San Luis Potosí	M3 Vanegas	304362.04	2650102.45

Las muestras de suelo se colectaron de acuerdo con la metodología que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-105-1988 para el análisis de plaguicidas en suelo. Para ello se tomaron submuestras de aproximadamente 100 g. de suelo dentro de las colonias, se empleó en forma de zigzag tratando de abarcar la mayor área posible (DOF, 1988).



Cabe aclarar que las muestras fueron tomadas de los montículos de las madrigueras y del suelo suelto que había dentro, siempre cuidando de no destruir los montículos que tienen una función de vigilancia para los individuos para no generar impactos en el hábitat.

La elección de los plaguicidas a identificar se realizó por medio de la revisión de literatura y se eligieron ocho plaguicidas (clorpirifos, metamidofos, glifosato, endosulfán, imidacloprid, deltametrina y metomilo), abarcando compuestos organofosforados, organoclorados, carbamatos y piretroides. Estos plaguicidas son utilizados regularmente en cultivos de maíz, jitomate y papa, cultivos presentes en las zonas de estudio (Flores *et al.*, 2018).

Para la extracción de los plaguicidas se utilizó la técnica Soxhlet (Maldonado, 2021), para ello se emplearon 15 g. de suelo y 180 ml de hexano como disolvente, dejando pasar 5 ciclos por cada extracción. El producto final se llevó a evaporación total, reconstituyendo con agua destilada para su posterior análisis.

Para la identificación y cuantificación se realizó una curva de calibración para cada plaguicida y se prepararon seis diluciones estándares con concentraciones de entre 0.001mg/mL hasta los 0.5 mg/mL en agua destilada. Estas diluciones fueron inyectadas al HPLC y los valores del área se graficaron para determinar la ecuación de la recta y determinar el coeficiente de determinación. Con estos valores se realizó la cuantificación de los plaguicidas detectados en las muestras.

Para la detección y cuantificación de plaguicidas, se utilizó la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) mediante un equipo HPLC marca Agilent modelo 1100 Series detector UV-Vis, con columna Agilent Varían Pursuit de 5 mm de diámetro, 150 mm de longitud y 4.6 mm de diámetro de partícula a una temperatura de 25.5 °C. Se utilizó Acetonitrilo (A) y Agua grado HPLC (B), a una velocidad del flujo que se mantuvo en 0.5 mL/min a un volumen de inyección de 20 µL. La detección se realizó a una longitud de onda de 234 nm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron residuos de plaguicidas en el total de las muestras analizadas de los estados de Zacatecas y San Luis potosí. Para Zacatecas el glifosato se detectó en concentraciones más altas a comparación de los otros plaguicidas detectados, con valores de 5.3 mg/g y 5.4 mg/g. Para el estado de San Luis Potosí también se detectó en mayor concentración el glifosato, con valores de entre 4.9- 5.5 mg/g, estos rangos fueron similares a los detectados en el estado de Zacatecas (Tabla 2 y 3). Se tienen ya detectadas las concentraciones de glifosato en colonias de los estados de Coahuila y Nuevo León, donde se encontraron niveles de glifosato mayores a los de este estudio, entre 4.2 hasta 13.5 mg/g (Cano-García *et al.*, 2022). En suelos agrícolas de Venezuela se detectaron niveles de herbicidas mucho más bajos de hasta 0.026 mg/g presentes en suelos agrícolas (Rojas-Fernández *et al.*, 2019). La presencia de glifosato en mayor concentración en todas las muestras analizadas puede deberse al uso frecuente de este



producto para el control de malezas. En México de cada tres unidades de producción, dos utilizan glifosato para el control de malezas (Hernández *et al.*, 2021). Además las propiedades químicas del glifosato le proporciona la capacidad de persistencia en el ambiente ya que es estable químicamente y es volátil por lo que facilita su dispersión en el ambiente (Flores *et al.*, 2018).

El insecticida metamidofos también presentó concentraciones altas en comparación con las otras muestras, para Zacatecas se obtuvieron valores de 4.5 y 4.7 mg/g (Tabla 2). Estos resultados coinciden con rangos similares para el estado de San Luis Potosí, donde se detectaron concentraciones desde los 4.3 hasta los 4.8 mg/g (Tabla 3). El metamidofos es un insecticida que pertenece al grupo de los organofosforados. Este plaguicida presenta un alto poder residual, es utilizado principalmente para el control de ácaros en cultivos de maíz, papa, jitomate y chile, cultivos que están presentes en la zona de estudio (Iannacone *et al.*, 2007). Este insecticida está clasificado como Altamente Peligroso (clase Ib) según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020). En los estados de Coahuila y Nuevo León en suelos de cultivos de papa y manzano se han detectado concentraciones de metamidofos menores a los que se obtuvieron en este estudio, con rangos de entre 0.018 mg/g y 1.16 mg/g (Maldonado *et al.*, 2021). Sin embargo en los estados de Coahuila y Nuevo León en colonias de perrito de la pradera se encontró la presencia de metamidofos en concentraciones mayores desde 3.2 hasta 11.6 mg/g (Cano-García *et al.*, 2022).

Los plaguicidas clorpirifos, malatión, endosulfán, imidacloprid, deltametrina y metomilo se detectaron concentraciones más bajas. De clorpirifos se detectó 0.2 mg/g y de malatión de 0.3 y 0.4 mg/g (Tabla 2 y 3), comparados a los detectados en los estados de Coahuila y Nuevo León en suelo de cultivo de papa y manzana, donde se encontraron concentraciones más altas de clorpirifos, en rangos de entre 0.33 mg/ hasta 3.8 mg/g y de malatión de entre 0.07 a 1.01 mg/g (Maldonado *et al.*, 2021).

**Tabla 2. Concentraciones (mg/g) de plaguicidas detectados en muestras de suelo obtenidas en colonias de perrito de la pradera del estado de Zacatecas y San Luis Potosí**

Muestra	Clorpirifos	Metamidofos	Malatión	Glifosato	Endosulfán	Imidacloprid	Deltametrina	Metomilo
<b>M1 ZAC</b>	0.2	<b>4.5</b>	0.4	<b>5.3</b>	0.1	0.06	0.02	0.07
<b>M2 ZAC</b>	0.2	<b>4.7</b>	0.4	<b>5.4</b>	0.1	0.06	0.02	0.08

Se resaltan en negritas las concentraciones más altas.



**Tabla 3. Concentraciones (mg/g) de plaguicidas detectados en muestras de suelo obtenidas en colonias de perrito de la pradera del estado de San Luis Potosí**

Muestra	Clorpirifos	Metamidofos	Malatión	Glifosato	Endosulfán	Imidacloprid	Deltametrina	Metomilo
<b>M1 SLP</b>	0.2	<b>4.8</b>	0.4	<b>5.5</b>	0.1	0.06	0.02	0.08
<b>M2 SLP</b>	0.2	<b>4.3</b>	0.3	<b>4.9</b>	0.09	0.06	0.01	0.07
<b>M3 SLP</b>	0.2	<b>4.6</b>	0.4	<b>5.4</b>	0.1	0.06	0.02	0.07

Se resaltan en negritas las concentraciones más altas.

Los plaguicidas aplicados en los campos de cultivo se dispersan en el ambiente, puede estar presente en distintos elementos como el suelo en este caso. Esto provoca que los organismos como el perrito de la pradera y todos aquellos que se encuentran en el hábitat estén en exposición directa a estos productos químicos, provocando daños tanto en los individuos como en las poblaciones. El glifosato es considerado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) como un plaguicida de toxicidad clase II siendo el I el más tóxico (Salazar & Aldana, 2011). En México el glifosato es uno de los plaguicidas considerados altamente peligrosos con mayor número de registros autorizados en la COFEPRIS (Bejarano, 2017). Tiene una toxicidad (oral en ratas) de  $DL_{50}$  mayor a  $5000 \text{ mg kg}^{-1}$  y una ingesta diaria admisible (IDA) de  $0.3 \text{ mg kg}^{-1}$  (Salazar & Aldana, 2011). Si comparamos la concentración mayor de glifosato detectada en este estudio que fue de  $5.5 \text{ mg/g}$  presente en suelo, este es más alta a la  $DL_{50}$  y a la IDA. Estudios realizados en ratones tratados diariamente con dosis de 250 o 500 mg/kg a una concentración de 50 g/l (50 mg/mL) de glifosato, en tratamientos subcrónicos de seis semanas y crónicos de 12 semanas, provoca alteraciones en la memoria de reconocimiento y retención. La exposición crónica tuvo un efecto en la memoria de trabajo, además se demostró una disminución en la actividad de la enzima acetilcolinesterasa (AChE) en el cerebro de los ratones (Bali *et al.*, 2019).

Si bien la acción del glifosato en plantas está enfocado a la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintetasa la cual no tienen los mamíferos (Hernández *et al.*, 2021), el glifosato es considerado un plaguicida anticolinérgico, ya que impide la hidrólisis de la acetilcolina (ACh) un neurotransmisor, proceso realizado por la AChE. Esto provoca que la ACh se acumule en las terminaciones nerviosas, provocando la interferencia en funciones de termorregulación; comportamiento de los individuos como el tiempo de forrajeo, habilidad de aprendizaje, consumo de agua y alimento; puede provocar pérdida de peso; problemas en el desarrollo y bajo éxito reproductivo en mamíferos (Chi-Coyoc *et al.*, 2016; Dallegrave *et al.*, 2007; García, 2015; Salazar & Aldana, 2011). La presencia de glifosato en suelos de las colonias de *C. mexicanus* si



bien no demuestran la presencia en su organismo, si deja en claro que los plaguicidas aplicados en los cultivos cercanos, se transportan hasta sus colonias dejándolos expuestos de manera crónica, ya que los residuos pueden permanecer por mucho tiempo, en caso del glifosato se ha comprobado que hasta 21 meses después de su aplicación puede estar presente en el suelo (Simonsen *et al.*, 2008).

Existen pocos estudios realizados en mamíferos silvestres donde se determinan residuos de plaguicidas, hay pocos trabajos que evidencien realmente los efectos adversos de los plaguicidas en mamíferos silvestres, la mayoría de los daños son demostrados en ensayos in vitro con ratas. En cambio se han realizado varios con las abejas y aves donde si se demuestra que los plaguicidas impactan a las poblaciones reduciendo sus poblaciones y produciendo daños en su reproducción (Botías & Sánchez-Bayo, 2018; Martin-Culma & Arenas-Suárez, 2018; Cobos *et al.*, 2011).

Los plaguicidas organoclorados son muy estables, persistentes en el ambiente y tienen gran capacidad de bioacumulación ya que son liposolubles (Sierra-Cortés *et al.*, 2019). El endosulfán es un organoclorado y está considerado un contaminante orgánico persistentes (COP), sus propiedades lipofílicas le permite acumularse en los tejidos grasos de los animales (Sharma *et al.*, 2012). Este compuesto funciona como un antagonista del receptor GABA en el Sistema Nervioso Central (SNC) de los mamíferos, se ha demostrado que exposiciones en ratas gestantes de entre 12 y 22 días con dosis de 3 mg/kg, provoca la pérdida de peso de la madre y en las crías disminuye la producción de espermatozoides (Richardson *et al.*, 2019; Silva & Gammon, 2009).

En osos pardos y lobos grises en Croacia se identificaron en tejido adiposo, residuos de organoclorados de hexaclorobenceno (HCB), isómeros del hexaclorociclohexano (a-, b- y c-HCH), 1,1-dicloro-2,2-di (4-clorofenil) etileno (DDE), 1,1-dicloro-2,2-di (4-clorofenil) etano (DDD) y 1,1,1-tricloro-2,2-di (4-clorofenil) etano (DDT). Las concentraciones variaron entre 0.45 a 4.09 ng/g en osos y de 1.18 a 5.67 ng/g en lobos, estas concentraciones se consideraron bajas y que no representaban un peligro para las especies estudiadas, al contrario, a la concentración del insecticida organoclorado endosulfán que se detectó en las muestras de suelo analizadas de 0.1 mg/g las cuales son mucho mayores (Romanić *et al.*, 2015). Se ha comprobado que los plaguicidas pueden transportarse hasta sitios distintos a los que se aplican, llegando incluso a lugares más altos como montañas, bioacumulándose en pequeños mamíferos que se encuentran presentes. Se ha detectado endosulfán en regiones de alta montañas en Brasil en concentraciones de entre 0.6 hasta 144 ng/g lo equivalente a 0.000144 mg/g, estando muy por debajo de las concentraciones que se detectaron en este estudio que fueron de 0.1 mg/g (Capella *et al.*, 2023). En la zona del Golfo de México en el estado de Campeche, se analizaron distintas especies de ratones silvestres que han estado expuestos a plaguicidas por encontrarse cerca de zonas agrícolas. Se detectó endosulfán desde 4.62



hasta los 2 899.5 ng/g sugiriendo que las concentraciones pueden causar daños a largo plazo como estrés oxidativo, daños en células de distintos órganos, puede influir en la reproducción causando alteraciones en los espermatozoides e incluso puede llegar a ser teratogénicos y hasta cancerígenos (Chi-Coyoc *et al.*, 2016).

Uno de los pocos estudios que ha documentado daños físicos en fauna silvestre se realizó en Uganda, donde se estudiaron poblaciones de chimpancés y babuinos que tienen ciertas deformidades como labio leporino, deformaciones nasales que van desde el hundimiento hasta la ausencia de las fosas nasales y distintos grados de daños en la piel. El estudio se centró en el análisis de muestras de semillas de maíz y tallos frescos que eran consumido por los individuos de chimpancés y babuinos. Los resultados arrojaron que las semillas de maíz y tallos contenían concentraciones de clorpirifos mayores a los Límite Máximo de Residuo (LMR) con 0.372 mg/kg, también se detectó imidacloprid en semillas en concentraciones elevadas de hasta 460 mg/kg, estas concentraciones son mayores a lo que se detectó en muestras de suelo de perrito de la pradera, si bien no se han realizado estudios directamente de los individuos, muestra que existe una exposición a plaguicidas por medio de la alimentación (Krief *et al.*, 2017). El imidacloprid es un insecticida piretroide que está clasificado como moderadamente peligroso por la OMS con una DL<sub>50</sub> de 450 mg/kg (OMS, 2020), en este estudio se detectaron hasta 60 mg/kg por lo que la exposición de los perritos de la pradera a largo plazo podría causar problemas ya que se ha demostrado que dosis más bajas de la DL<sub>50</sub> de imidacloprid (31 mg/kg) pueden afectar la homeostasis tiroidea y a la reproducción (Pandey & Mohanty, 2015). En cuanto al clorpirifos también se considera moderadamente peligroso con una DL<sub>50</sub> de 135 mg/kg (OMS, 2020) y los resultados de este estudio sobrepasaron estos rangos ya que se detectaron 200 mg/kg.

## CONCLUSIONES

Se detectaron ocho plaguicidas en el 100% de las muestras colectadas en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí. El herbicida glifosato el insecticida metamidofos, presentaron concentraciones más altas que los demás plaguicidas. La presencia de glifosato en el suelo puede provocar afectos adversos en el organismo de *C. mexicanus*, ya que los compuestos pueden ser absorbidos vía cutánea. Si bien estos resultados no demuestran la presencia de residuos en el organismo del perrito de la pradera, es claro que están presentes en su hábitat, y la exposición crónica puede estar provocando daños en las poblaciones. Estos resultados proporcionan información importante y son referencia sobre un factor importante que puede estar influyendo en la disminución de las poblaciones del perrito de la pradera, como es la actividad de aplicación de plaguicidas en zonas agrícolas. Proporcionan una pauta para realizar acciones para la aplicación de un Manejo Integrado de Plagas, con el fin de poder reducir el impacto a la fauna silvestre de los ecosistemas.



## LITERATURA CITADA

- BADII M, Garza V, Landeros J. 2006. Plaguicidas: efecto de los plaguicidas en la fauna silvestre. *Culcyt. Cultura Científica y Tecnológica*. 14:22–44.  
<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/510>
- BALI Y A, Kaikai N, Ba-M'hamed S, Bennis M. 2019. Learning and memory impairments associated to acetylcholinesterase inhibition and oxidative stress following glyphosate based-herbicide exposure in mice. *Toxicology*. 415:18–25.  
<https://doi.org/10.1016/j.tox.2019.01.010>
- BEJARANO F. 2017. Los plaguicidas altamente peligrosos en México. Red de acción sobre plaguicidas y alternativas en México, A.C. (RAPAM), 351.  
<https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2017/09/Libro-Plaguicidas-Final-14-agst-2017sin-portada.pdf>
- BLANCO P, Figini I, Marino DJ, Orozco MM. 2020. Estudio de la contaminación ambiental por plaguicidas y su impacto en fauna silvestre en Humedal del Noreste de Argentina. *Ciencias de La Salud, Universidad Autónoma de Encarnación*. 2(1):39–51.  
<https://www.unae.edu.py/ojs/index.php/salud/article/view/254>
- BOTÍAS C, Sánchez-Bayo F. 2018. Papel de los plaguicidas en la pérdida de polinizadores. *Revista Ecosistemas*. 27(2):34–41. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1314>
- CANO-GARCÍA A, Cerna-Chávez E, Ochoa-Fuentes YM, Maldonado-Ortega V, Ceballos-Ceballos A G, Linares-Márquez P, Lafón-Terrazas A. 2022. Determinación y cuantificación de residuos de plaguicidas en suelo y agua en pastizales del noroeste de México, hábitat del perrito de la pradera mexicana. *Revista Mexicana de Mastozoología, Nueva Época*. 12(1):33–48.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2022.12.1.347>
- CANTÚ PC, Meza MM, Valenzuela AI, Osorio C, Zamorano HG, Cota PG, Gutiérrez DL. 2019. Determinación de plaguicidas organoclorados en hortalizas del sur de Sonora: calidad y seguridad de los alimentos con relación a los límites máximos permitidos. *Biotechnia*. 21(2):19–27. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v21i2.902>
- CAPELLA R, Guida Y, Loretto D, Weksler M, Meire RO. 2023. Occurrence of legacy organochlorine pesticides in small mammals from two mountainous National Parks in southeastern Brazil. *Emerging Contaminants*. 9(2), e100211.  
<https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100211>
- CARRERA MA. 2008. Situación actual, estrategias de conservación y bases para la recuperación del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*). Tesis de maestría, Instituto de Ecología/Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/90976>



CHAPARRO-GARCÍA, AL, Quijano-Parra A, Rodríguez-Martínez R, Lizarazo-Gutiérrez LF. 2017. Desarrollo y validación de un método ambientalmente amigable para la determinación de carbofurano en suelos. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 18(1):89–102. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num1\\_art:560](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:560)

CHI-COYOC T, Segura GE, Moncada AV, Contreras Vargas JA, Castillo Vela GE, Reyna JL. 2016. Plaguicidas organoclorados y anticolinérgicos en ratones silvestres en ecosistemas de humedales costeros del Golfo de México. *Therya*. 7(3):465–482. <https://doi.org/10.12933/therya-16-422>

COBOS VM, Barrientos R, Chi C. 2011. Los plaguicidas y su impacto sobre la fauna silvestre de la Península de Yucatán Bioagrocencias Biodiversidad. *Bioagrocencias*. 4(2):4–9. <https://pagosccba.uady.mx/bioagro/V4N2/V4N2.pdf>

DALLEGRAVE E, Mantese FD, Oliveira RT, Andrade AJM, Dalsenter PR, Langeloh A. 2007. Pre- and postnatal toxicity of the commercial glyphosate formulation in Wistar rats. *Archives of toxicology*. 81:665–673. <https://doi.org/10.1007/s00204-006-0170-5>

DOF. 1988. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-105-1988, Plaguicidas determinación de residuos en suelo: método de toma de muestras. Diario Oficial de La Federación, 25–27. México. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa105.pdf>

FLORES GP, Orozco JO, Payán F, Alarcón G. 2018. Naturaleza y acciones de los plaguicidas organofosforados sobre el ambiente y la salud. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 18(35):151–179. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/346>

GARCÍA J, Leyva JB, Martínez IE, Hernández MI, Aldana ML, Rojas AE, Betancourt M, Pérez NE, Perera Rios JH. 2018. Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 34 (Special Issue 1):29-60. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp01.03>

GARCÍA S. 2015. Evaluación de la carcinogenicidad del glifosato. Evidencias y controversias. In Asociación Toxicológica Argentina. <https://www.toxicologia.org.ar/wp-content/uploads/2016/06/Carcinogenicidad-del-glifosato-SG-1.pdf>

HERNÁNDEZ R, García D, Romero H. 2021. Uso del glifosato en México. *Revista Iberoamericana de Bioética*. 17:1–12. <https://doi.org/10.14422/rib.i17.y2021.007>

IANNACONE J, Onofre R, Huanqui O, Giraldo J, Mamani N, Miglio MC, Alvariño L. 2007. Evaluación del riesgo ambiental del insecticida metamidofos en bioensayos con cuatro organismos acuáticos no destinatarios. *Agricultura Técnica*. 67(2):126–138. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000200002>



KRIEF S, Berny P, Gumisiriza F, Gross R, Demeneix B, Fini JB, Chapman CA, Chapman LJ, Seguya A, Wasswa J. 2017. Agricultural expansion as risk to endangered wildlife: Pesticide exposure in wild chimpanzees and baboons displaying facial dysplasia. *Science of the Total Environment*. 598:647–656. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.113>

MALDONADO V, Ochoa YM, Cerna E. 2021. Adaptación de una técnica espectrofotométrica para la detección de residuos de plaguicidas en muestras de suelo y agua. *Interciencia*. 46(4):156–161. [https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2021/05/03\\_-6744\\_Com\\_Maldonado\\_v46n4\\_6.pdf](https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2021/05/03_-6744_Com_Maldonado_v46n4_6.pdf)

MARTIN-CULMA NY, Arenas-Suárez NE. 2018. Collateral damage in bees due to pesticide exposure of agricultural use. *Entramado*. 14(1):232–240. <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27113>

MEDELLÍN RA, Bárcenas HV. 2021. Evaluación del estado de conservación y amenazas de *Cynomys mexicanus* en el marco del examen de revisión periódica de especies listadas en los Apéndices de la CITES. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. QE005 Ciudad de México. <http://www.cbmm.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos.cgi?Letras=QE&Numero=5>

MOO-MUÑOZ AJ, Azorín-Vega EP, Ramírez-Durán N, Moreno-Pérez MP. 2020. Estado de la producción y consumo de plaguicidas en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 23: 1–11. ISSN: 1870-0462. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109820>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2020. Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019. [WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (Vol. 1). Pp 92. ISBN: 9789240016057. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/337246/9789240016057-spa.pdf?sequence=1>

PANDEY SP, Mohanty B. 2015. The neonicotinoid pesticide imidacloprid and the dithiocarbamate fungicide mancozeb disrupt the pituitary-thyroid axis of a wildlife bird. *Chemosphere*. 122:227–234. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.11.061>

RICHARDSON JR, Fitsanakis V, Westerink RHS, Kanthasamy AG. 2019. Neurotoxicity of pesticides. *Acta Neuropathologica*. 138(3):343–362. <https://doi.org/10.1007/s00401-019-02033-9>

ROMANIĆ SH, Klinčić D, Kljakovic-Gašpić Z, Kusak J, Reljić S, Huber D. 2015. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyl congeners in wild terrestrial mammals from Croatia: Interspecies comparison of residue levels and compositions. *Chemosphere*. 137: 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.026>



ROJAS-FERNÁNDEZ JA, Benítez-Díaz, PR, Rivas-Rojas EA, Miranda-Contreras L. 2019. Residuos de plaguicidas en suelos de uso agrícola y riesgo de exposición en la microcuenca los zarzales, municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 35(2):307–315.

<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.04>

SALAZAR NJ, Aldana ML. 2011. Herbicida Glifosato: Usos, toxicidad y regulación. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad de Sonora*. 13:23–28.

<https://doi.org/10.18633/bt.v13i2.83>

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de La Federación. Pp. 1–77. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010)

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recurso Naturales). 2018. Programa de Acción para la Conservación de las Especies Perrito Llanero de Cola Negra (*Cynomys ludovicianus*) y Perrito Llanero Mexicano (*Cynomys mexicanus*).

<https://www.gob.mx/conanp/documentos/programa-de-accion-para-la-conservacion-de-especies-pace-perritos-llaneros-cynomys-ludovicianus-y-cynomys-mexicanus?state=published7>

SHARMA A, Mishra M, Shukla AK, Kumar R, Abdin MZ, Chowdhuri DK. 2012. Organochlorine pesticide, endosulfan induced cellular and organismal response in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Hazardous Materials*. 221–222:275–287.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.045>

SIERRA-CORTÉS JC, Vega y León S, Gutiérrez-Tolentino R, Ortis-Salinas R, Pérez-González JJ, Escobar-Medina AC. 2019. Plaguicidas Organoclorados en Agua de la Laguna Negra de Puerto Marqués, Acapulco, Guerrero, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 35(2):397–406. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.11>

SILVA MH, Gammon D. 2009. An assessment of the developmental, reproductive, and neurotoxicity of endosulfan. *Birth Defects Research. Part B, Developmental and Reproductive Toxicology*. 86(1):1–28. <https://doi.org/10.1002/BDRB.20183>

SIMONSEN L, Fomsgaard IS, Svensmark B, Spliid NH. 2008. Fate and availability of glyphosate and AMPA in agricultural soil. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 43(5):365–375.

<https://doi.org/10.1080/03601230802062000>

Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-8. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.5>

Nota de Investigación. Recibido:28/11/2023. Aceptado:09/04/2024. Publicado:05/05/2024. Clave: e2021-82.

<https://www.youtube.com/watch?v=Lw5YXZU0af8>

## Comparación del uso del refractómetro Brix y calostrometro para estimar la calidad del calostro en vacas lecheras

Comparison of the use a refractometer and colostrometry to estimate the quality of colostrum in dairy cows



Alfonso Nava-Cruz<sup>ID</sup>, Jessica Flores-Salas<sup>ID</sup>, Edir Torres-Rodríguez<sup>ID</sup>, Fernando Arellano-Rodríguez<sup>ID</sup>, Pedro Robles-Trillo<sup>ID</sup>, Alan Alvarado-Espino<sup>ID</sup>, Ramón Delgado-González<sup>\*ID</sup>

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe. C.P. 27054, Torreón, Coahuila, México. \*Autor de correspondencia: Ramón Delgado-González. E-mail: navaca67@hotmail.com, jesflor13@hotmail.com, edirtorresrodriguez@gmail.com, fernandoarellano\_13@yahoo.com.mx, parobles58@gmail.com, asae\_21@hotmail.com, raldego@gmail.com

### Resumen

El calostro es la primera secreción mamaria y es la única forma en la cual las becerras adquieren inmunidad pasiva. El objetivo de este estudio es determinar la correlación de la calidad del calostro de vacas lecheras de alta producción medido con calostrómetro y refractometría digital de grados Brix (°Bx). Se tomaron 340 muestras de calostro del mismo número de vacas y fueron analizadas mediante el calostrómetro y refractometría de °Bx. Se realizó una regresión lineal simple y se determinó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Todo a través del paquete estadístico SPSS 25.0. La media de con calostrómetro fue de  $87.94 \pm 110$ , mientras con refractometría Brix fueron de  $26.19 \pm 18$ , con una  $R^2$  0.706 con un valor de  $P < 0.0001$ . En conclusión, las lecturas de refractometría y el calostrómetro, son métodos efectivos en determinar las inmunoglobulinas. El refractómetro Brix tuvo una correlación aceptable, lo cual puede ser una herramienta fácil de verificación de calidad de calostro al pie de la vaca.

**Palabras clave.** calostro, grados brix, calostrómetro, vacas lecheras.

### Abstract

Colostrum is the first mammary secretion and is the only way in which calves can obtain passive immunity. This study aimed to correlate the quality of colostrum from high-yielding dairy cows using either a colostrometer or Brix digital refractometry (°Bx). Samples ( $N=340$ ) of colostrum were taken from cows and analyzed with a colostrometer and Brix refractometry. A linear regression was performed, the coefficient of determination ( $R^2$ ) was calculated. All statistical analyzes were done with the SPSS 25.0 statistical package. Means with colostrometer were  $87.94 \pm 110$ , while with Brix refractometer they were  $26.19 \pm 18$ , with  $R^2$  0.706 and a  $P < 0.0001$ . In conclusion, the refractometer and the colostrometer are effective methods to determine immunoglobulins. Brix refractometer had an acceptable correlation, which could be a useful tool for verifying the colostrum's quality next to the cow.

**Keywords:** colostrum, brix degrees, colostrometer, dairy cows.

## INTRODUCCIÓN

El calostro es la primera secreción mamaria compuesta por varios componentes (Baumrucker *et al.* 2010), como los antimicrobianos, lactoferrina, lisozima y lactoperoxidasa, así como las inmunoglobulinas (Ig) que proporcionan inmunidad pasiva al recién nacido y los factores de crecimiento que estimulan el desarrollo del intestino (Menon *et al.* 2010). Las becerras nacen agammaglobulinémicas debido a que la placenta



de los bovinos no permite el traspaso de Ig de la madre al feto durante la gestación (Godden, 2008), por lo tanto la única fuente de inmunidad para los becerros es el calostro (Stelwagen *et al.* 2009). El factor más importante que influye en la salud de los becerros y la producción futura es garantizar una ingesta correcta de calostro con alto contenido de inmunoglobulinas tan pronto como sea posible después del nacimiento (Bielmann *et al.* 2010). Por lo tanto un calostro de mala calidad con una concentración inadecuada de inmunoglobulina contribuye a la transferencia fallida de la inmunidad pasiva en los becerros, lo que conduce a una mayor morbilidad y mortalidad (Drikic *et al.* 2018). La diarrea de los becerros y otras enfermedades digestivas representan más del 62% de toda la mortalidad de las vaquillas antes del destete (Baumrucker *et al.* 2010).

Por otra parte, la concentración de IgG se mide de forma rutinaria en el calostro y en la sangre de los becerros 24 a 48 h después del nacimiento para determinar la calidad del calostro (Gelsing *et al.* 2015). Se han utilizado muchos métodos para evaluar la concentración de IgG del calostro. Sin embargo, se necesitan herramientas de evaluación mejoradas y validadas (Bielmann *et al.* 2010). Históricamente, la inmunodifusión radial (RID) ha sido el único método que mide directamente la IgG (Gelsing *et al.* 2015). Sin embargo, la lectura de calidad de calostro con pruebas al pie de la vaca es determinantes en la toma de decisiones con respecto a la calidad del calostro. Existen diferentes métodos para evaluar la calidad de calostro y los utilizados a nivel de granja son el calostrómetro y el refractómetro de grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ). El calostrómetro se puede utilizar para la evaluación cualitativa del calostro o para estimar la cantidad de Ig (Fleenor & Stott, 1980). El calostrómetro mide la gravedad específica de un líquido. En el caso del calostro, la gravedad específica está altamente correlacionada con los sólidos totales (ST), la proteína representa el 64% de ST y las globulinas representan un 47% de la proteína total (Fleenor & Stott, 1980). Por lo tanto, la gravedad específica del calostro se correlaciona con su contenido de inmunoglobulinas (Bielmann *et al.* 2010). Por su parte, el refractómetro de  $^{\circ}\text{Bx}$  también es una herramienta rápida y convenientes para la clasificación de la calidad del calostro (Bartens *et al.* 2016). La refractometría Brix muestra un buen potencial para estimar de manera confiable las concentraciones de IgG en el calostro de vaca en múltiples laboratorios y puede recomendarse para ayudar en las decisiones de manejo del calostro en los hatos lecheros (Gamsjäger *et al.* 2020), además el refractómetro Brix es fácil de usar y es una herramienta más específica para detectar calostro de calidad adecuada (Bartier *et al.* 2015). Sin embargo, existen pocos estudios en donde se compare ambos métodos para determinar la calidad del calostro. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la correlación de la calidad del calostro de vacas lecheras de alta producción a través del refractómetro  $^{\circ}\text{Bx}$  y calostrometría.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### General

Todos los métodos y manejo de las unidades experimentales utilizadas en este estudio fueron en estricto acuerdo con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar de animales en investigación a nivel internacional (FASS, 2010) y nivel nacional (NAM, 2010) con número de referencia de aprobación institucional UAAAN-UL/ 38111-425501002-2706.



### Localización del estudio y manejo de los animales

El presente estudio se realizó en un establo lechero en el norte de México, localizado 103°29'213" longitud oeste y 25° 92'199" latitud norte, a una altura de 1,100 msnm, durante el periodo de 2012-2014. Dicha explotación se ubica en una zona con altas temperaturas diurnas en época de verano (alrededor de 40° C) y radiación solar intensa, con una baja humedad relativa (THI medio= 80 con rango de 69.8 a 85.0) y la precipitación media anual es de 230 mm. Se tomaron 340 muestras de calostro fresco del mismo número de vacas inmediatamente después del parto. Las vacas donantes fueron de un hato de 2,300 vacas Holstein de una a cinco lactancias.

### Recolección del calostro y análisis de las muestras

El calostro se recolectó de cada vaca de acuerdo a los procedimientos del establo mediante una máquina de ordeño previa desinfección de la ubre. El calostro se recolectó inmediatamente después del parto. Se tomaron en total 340 muestras de calostro de vacas Holstein. Para las muestras analizadas mediante el calostrómetro (Kessler/Chase) se utilizaron 500 mL a una temperatura de 22 °C, el cual tiene un rango de densidad específica de 1.027 - 1.076 el cual corresponde a 142-126.62 g/L de Ig. La clasificación de la calidad del calostro fue inferior <1.036 (<24.35 g/L de Ig), moderada 1.036-1.046 (24.35-49.82 g/L de Ig) y alta >1.046 (>49.82 g/L de Ig) (Fleenor & Stott, 1980). Las muestras analizadas con el refractómetro digital de °Bx (MISCO Palm Abbe #PA203 US Patent 10880) con un rango de medición del 0% al 56%, se usaron 60 µL de calostro a temperatura ambiente para llenar el disco de medición y se registró el porcentaje Brix (%) para determinar los sólidos totales (Quigley *et al.* 2013). El refractómetro se calibró usando agua destilada antes de su uso y se lavó con agua destilada entre muestras.

### Análisis Estadísticos

En análisis de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS 25.0 se realizó un análisis de regresión lineal simple y se determinó el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de acuerdo al siguiente modelo:

$$\check{y} = \beta_0 + \beta_1 X$$

Donde:

$\check{y}$  = Valor de Y

$\beta_0$  = Estimado del intercepto de regresión

$\beta_1$  = Estimado de la pendiente de regresión

X= Variable independiente

## RESULTADOS

Los resultados se muestran en la figura 1. El coeficiente de correlación obtenido en este estudio mediante el análisis de regresión y se muestra en la figura 1. Donde se encontró con una R<sup>2</sup> 0.707 con un valor de P<0.0001.

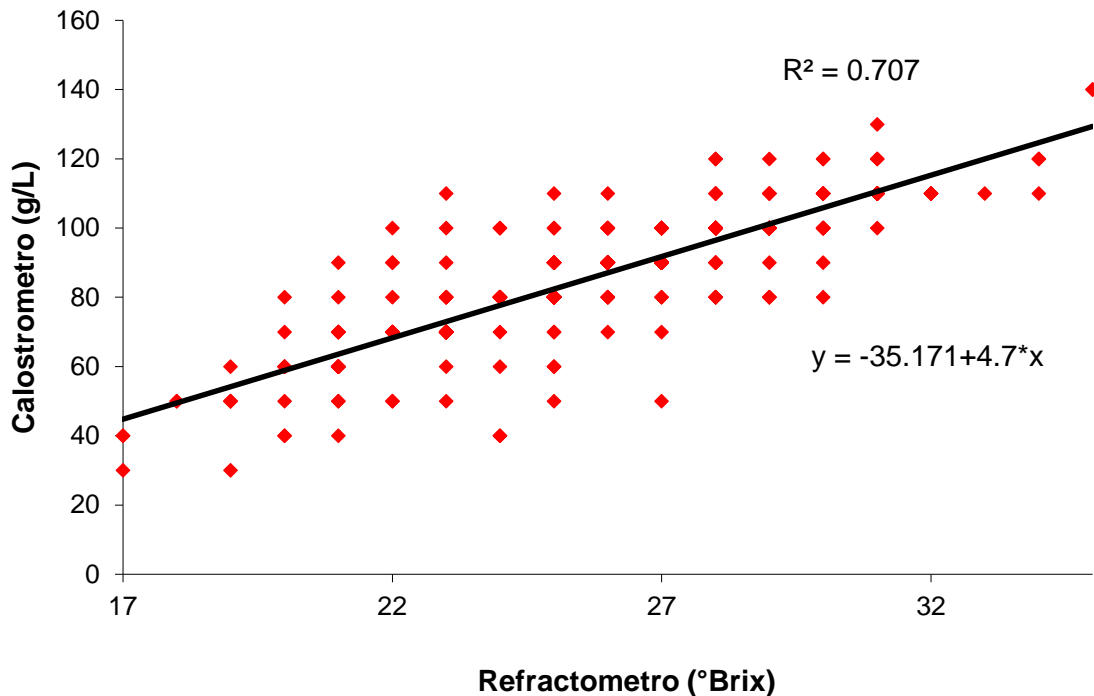


Figura 1. Análisis de regresión de los datos obtenidos con el calostrómetro (g/L) y mediante el refractómetro de °Bx

## DISCUSIÓN

En nuestro estudio se obtuvo una  $r^2$  0.706 ( $P < 0.0001$ ) para ambos métodos siendo igualmente efectivos en determinar los niveles de Ig en el calostro. Fleenor & Stott (1980), demostraron que la gravedad específica que mide el calostrómetro se asociaba estrechamente con los sólidos totales ( $r^2$  0.900) y con la concentración de inmunoglobulinas ( $r^2$  0.699). En la actualidad, el calostrómetro es la herramienta más comúnmente utilizada para evaluar la calidad del calostro antes de alimentar a los terneros (National Animal Health Monitoring System, 2010). Sin embargo, Mechor *et al.* (1992), refieren que su frágil diseño, y que la toma de lectura es fuertemente condicionada por la temperatura del calostro al momento del análisis, esto lo hacen menos deseable como herramienta en la granja. Además, la densidad también se ve afectada por la raza, número de lactancias y mes de parto (Morin *et al.* 2001). Por su parte, los refractómetros Brix funcionan bien a cualquier temperatura (Bielmann *et al.* 2010). Los refractómetros digitales estiman los sólidos totales informando un valor Brix (medida del índice de refracción), que luego se correlaciona con la IgG calostrual o las concentraciones de sólidos totales (Chigerwe & Hagey, 2014). Mientras que Bartens *et al.* (2016), mencionan que los refractómetros Brix proporcionaron la evaluación más precisa de la calidad del calostro y demostraron una excelente precisión en términos de repetibilidad. Bielmann *et al.* (2010) sugieren que el uso del refractómetro digital es muy útil para medir las



concentraciones de Ig en muestras de calostro, y que al congelar y descongelar las muestras no altera las lecturas. Por lo tanto, muestran un potencial enorme para ser herramientas de manejo útiles que se incluirán en un programa de monitoreo de calostro para mejorar la salud de los terneros neonatales en las operaciones lecheras además son duraderos y accesibles y el proceso de calibración es sencillo.

Los resultados de este estudio mostraron que el calostro de las vacas muestreadas con refractómetro digital fue en promedio de  $26.19 \pm 18$  grado Brix. Estos valores se aproximan a los valores reportados por Bartier *et al.* (2015), ellos analizaron 569 muestras de calostro y su resultado obtenido fue de 24.3 como media y rango de 42.2. Morrill *et al.* (2015) reportaron valores medios de 21.2 con rango de 18.1, sin embargo, nuestros resultados difieren de los datos obtenidos por Johnsen *et al.* (2019), quienes obtuvieron lectura de refractometría de  $19.7 \pm 20.4$ . Mientras que Hassan *et al.* (2020) mostro estar un poco por debajo de los resultados obtenidos en esta prueba, sus valores fueron de 20.32 como media y rangos de 26.9. Estas diferencias, pueden deberse a los diferentes aspectos que afectan la calidad del calostro, principalmente la paridad, los días en periodo de secado, la raza y la alimentación de las vacas en el periodo de reto. Por otra parte, los datos de calostrometría de nuestra investigación fueron de  $87.94 \pm 110$ . lo cual es similar a los reportados por Bartier *et al.* (2015), quienes analizaron 519 muestras de calostro y la media fue de  $82.3 \pm 140$ .

Para proporcionar una salud óptima a los terneros recién nacidos, es esencial una ingesta suficiente de calostro de buena calidad. Los refractómetros Brix proporcionan herramientas rápidas y útiles y convenientes para la clasificación de la calidad del calostro (Bartier *et al.* 2015). Otra ventaja es la poca cantidad de leche para utilizarse (Buczinski & Vandeweerd, 2016). La refractometría Brix muestra un buen potencial para estimar de manera confiable las concentraciones de IgG en el calostro de vaca en múltiples laboratorios y puede recomendarse para ayudar en las decisiones de manejo del calostro en las granjas (Gamsjäger *et al.* 2020).

## CONCLUSIÓN

El refractómetro Brix tuvo una correlación aceptable con los valores obtenidos con el calostrómetro, lo cual puede ser una herramienta fácil de verificación de calidad de calostro de manera sencilla. Por lo tanto, la refractometría puede ser una herramienta eficaz que sustituya al calostrómetro.

## LITERATURA CITADA

BARTENS MC, Drillich M, Rychli K, Iwersen M, Arnholdt T, Meyer L, Klein-Jöbstl D. 2016. Assessment of different methods to estimate bovine colostrum quality on farm. *New Zealand Veterinary Journal*. 64(5):263-7.  
<https://doi.org/10.1080/00480169.2016.1184109>



BARTIER AL, Windeyer MC, Doepel L. 2015. Evaluation of on-farm tools for colostrum quality measurement. *Journal of Dairy Science*. 98(3):1878-84.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-8415>

BAUMRUCKER CR, Burkett AM, Magliaro-Macrina AL, Dechow CD. 2010. Colostrogenesis: Mass transfer of immunoglobulin G1 into colostrum. *Journal of dairy science*. 93(7):3031-8.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2963>

BIELMANN V, Gillan J, Perkins NR, Skidmore AL, Godden S, Leslie KE. 2010. An evaluation of Brix refractometry instruments for measurement of colostrum quality in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 93(8):3713-21.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2943>

BUCZINSKI S, Vandeweerd JM. 2016. Diagnostic accuracy of refractometry for assessing bovine colostrum quality: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 99(9):7381-94. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10955>

CHIGERWE M, Hagey JV. 2014. Refractometer assessment of colostrum and serum IgG and milk total solids concentrations in dairy cattle. *BMC Veterinary Research*. 10(1):1-6.  
<https://doi.org/10.1186/s12917-014-0178-7>

DRIKIC M, Windeyer C, Olsen S, Fu Y, Doepel L, De Buck J. 2018. Determining the IgG concentrations in bovine colostrum and calf sera with a novel enzymatic assay. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 9(1):1-9.  
<https://doi.org/10.1186/s40104-018-0287-4>

FASS. 2010. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching, 3rd ed.; Federation Animal Science Society: Champaign, IL, USA; p. 177.  
[https://www.fass.org/images/science-policy/Ag\\_Guide\\_3rd\\_ed.pdf](https://www.fass.org/images/science-policy/Ag_Guide_3rd_ed.pdf)

FLEENOR WA, Stott GH. 1980. Hydrometer test for estimation of immunoglobulin concentration in bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*. 63(6):973-7.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83034-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83034-7)

GAMSJÄGER L, Elsohaby I, Pearson JM, Levy M, Pajor EA, Haines DM, Windeyer MC. 2020. Assessment of Brix refractometry to estimate immunoglobulin G concentration in beef cow colostrum. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 34(4):1662-73.  
<https://doi.org/10.1111/jvim.15805>

GELSINGER SL, Smith AM, Jones CM, Heinrichs AJ. 2015. Comparison of radial immunodiffusion and ELISA for quantification of bovine immunoglobulin G in colostrum and plasma. *Journal of Dairy Science*. 98(6):4084-9. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8491>



GODDEN S. 2008. Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 24(1):19-39.  
<https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.005>

HASSAN AA, Ganz S, Schneider F, Wehrend A, Khan IU, Failing K, Bülte M, Abdulmawjood A. 2020. Quantitative assessment of German Holstein dairy cattle colostrum and impact of thermal treatment on quality of colostrum viscosity and immunoglobulins. *BMC Research Notes*. 13(1):1-6. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05019-z>

JOHNSEN JF, Sørby J, Mejdell CM, Sogstad ÅM, Nødtvedt A, Holmøy IH. 2019. Indirect quantification of IgG using a digital refractometer, and factors associated with colostrum quality in Norwegian Red Cattle. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 61(1):1-9.  
<https://doi.org/10.1186/s13028-019-0494-9>

MECHOR GD, Gröhn YT, Van Saun RJ. 1991. Effect of temperature on colostrometer readings for estimation of immunoglobulin concentration in bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*. 74(11):3940-3. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78587-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78587-1)

MENON, P Ramesh, Rakesh Lodha, SK Kabra. 2010. Bovine colostrum in pediatric respiratory diseases: a systematic review. *The Indian Journal of Pediatrics*. 77: 108-09.  
<https://doi.org/10.1007/s12098-009-0257-0>

MORIN DE, Constable PD, Maunsell FP, McCoy GC. 2001. Factors associated with colostrum specific gravity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 84(4):937-43.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74551-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74551-1)

MORRILL KM, Robertson KE, Spring MM, Robinson AL, Tyler HD. 2015. Validating a refractometer to evaluate immunoglobulin G concentration in Jersey colostrum and the effect of multiple freeze–thaw cycles on evaluating colostrum quality. *Journal of Dairy Science*. 98(1):595-601. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8730>

NAM. 2010. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, 1st ed.; National Academy of Medicine: Harlan, Mexico City, Mexico.  
[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050/pdf/Bookshelf\\_NBK54050.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050/pdf/Bookshelf_NBK54050.pdf)

NATIONAL ANIMAL HEALTH MONITORING SYSTEM (US). Dairy 2007: Heifer Calf Health and Management Practices on US Dairy Operations, 2007. US Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Veterinary Services, National Animal Health Monitoring System; 2010.  
[https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=S3veJvF1HHMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=related:1dMLIHDIkqAJ:scholar.google.com/&ots=7L04RYqn\\_Y&sig=Y6AxRC1mJXz6tDjiONvcvvB\\_f-Y&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=S3veJvF1HHMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=related:1dMLIHDIkqAJ:scholar.google.com/&ots=7L04RYqn_Y&sig=Y6AxRC1mJXz6tDjiONvcvvB_f-Y&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)



QUIGLEY JD, Lago A, Chapman C, Erickson P, Polo J. 2013. Evaluation of the Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*. 96(2):1148-55. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5823>

STELWAGEN K, Carpenter E, Haigh B, Hodgkinson A, Wheeler TT. 2009. Immune components of bovine colostrum and milk. *Journal of Animal Science*. 87(suppl\_13):3-9. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1377>

#### [Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-8. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.7>  
Nota de Investigación. Recibido:09/01/2023. Aceptado:22/04/2024. Publicado:25/05/2024. Clave: e2023-2.  
[https://www.youtube.com/watch?v=Ge6-v\\_DQ8WQ](https://www.youtube.com/watch?v=Ge6-v_DQ8WQ)

## Tasa de concepción en vacas lecheras inseminadas a celo detectado o a tiempo fijo

Conception rate in dairy cows with heat detection and fixed-time artificial insemination



Contreras-Hernández Gustavo<sup>ID</sup>, Pinos-Rodríguez Juan<sup>\*\*ID</sup>, López-Aguirre Samuel<sup>ID</sup>, Gasperin-López Isaac<sup>ID</sup>, Estrada-Coates Alejandro<sup>ID</sup>

Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México. \*Autor responsable: Contreras-Hernández Gustavo. \*\*Autor de correspondencia: Pinos-Rodríguez Juan. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana. Av. Miguel Ángel de Quevedo s/n. Colonia Unidad Veracruzana CP. 91710, Veracruz, Veracruz, México. E-mail: guscontreras@uv.mx, jpinos@uv.mx, samuellopez@uv.mx, idegasperin@uv.mx, aestrada@uv.mx

### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de un programa de sincronización para inseminación artificial (IA) a tiempo fijo sobre la eficiencia reproductiva de 400 vacas lecheras, se compararon dos protocolos de inseminación artificial: IA a tiempo fijo con protocolo Ovsynch y IA a celo detectado por observación visual. Las vacas que repitieron celo, 21 días posteriores a la inseminación artificial, se sometieron a un nuevo tratamiento con un máximo de dos ocasiones hasta confirmar preñez. El diagnóstico de gestación se realizó por ecografía. El protocolo Ovsynch para realizar la IA a tiempo fijo, mejora la tasa de gestación y reduce los servicios por concepción, durante el primero, segundo y tercer servicio, en comparación con la IA a celo detectado. En los 3 servicios, la IA a tiempo fijo aumentó la tasa de preñez de 35.3% a un 45.6%, mientras que los servicios por concepción los redujo ( $P \leq 0.05$ ) de 2.82 a 2.18 en comparación con IA a celo detectado. Por ello, la implementación del protocolo Ovsynch para realizar IA a tiempo fijo es una alternativa viable en sustitución de un protocolo de inseminación a celo detectado.

**Palabras clave:** detección de celo, inseminación artificial, sincronización de celo.

### ABSTRACT

To evaluate the effects of a fixed-time artificial insemination (AI) protocol on the reproductive efficiency of 400 dairy cows, two artificial insemination protocols were evaluated: fixed-time AI with the Ovsynch protocol and AI at estrus detected by visual observation. Cows that returned to heat 21 days after artificial insemination were treatment with Ovsynch protocol until they were considered pregnant. The pregnancy diagnosis was by ultrasound. The Ovsynch protocol to perform fixed-time AI improves the pregnancy rate and reduces services per conception, during the first, second and third service, compared to AI at detected heat. In all 3 services. The AI at fixed-time increased the pregnancy rate from 35.3% to 45.6%, and services per conception reduced ( $P \leq 0.05$ ) from 2.82 to 2.18 as compared to AI at estrus detected. Therefore, the implementation of the Ovsynch protocol for AI at a fixed-time is an alternative to IA estrus detected.

**Keywords:** estrus detection, artificial insemination, estrus synchronization.



## INTRODUCCIÓN

Los sistemas intensivos de producción de leche hacen uso de protocolos de sincronización de celos y de inseminación artificial (IA) que aumentan las tasas de inseminación y de concepción ([Santos \*et al.\*, 2017](#)) ya que la detección del celo por observación directa es complicada por el gran número de animales. Por ello, diversos protocolos permiten sincronizar el ciclo estral e inducir la ovulación para realizar la IA en un momento determinado como lo es el protocolo Ovsynch, el cual consiste en el uso de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) y prostaglandina (PGF2 $\alpha$ ) para sincronizar el momento de la ovulación en vacas y vaquillas ([Fricke & Wiltbank, 2022](#)). El manejo de los ciclos estrales, para que todas las hembras ovulen en un periodo breve de tiempo, es el objetivo que ha estimulado el desarrollo de numerosas líneas de investigación a través de los años ([Bihon & Assefa, 2021](#)). Estas investigaciones, sobre todo las realizadas en las últimas décadas, llevaron al diseño de protocolos que permiten realizar la inseminación artificial (IA) sin la necesidad de detectar el celo, modalidad denominada comúnmente IA a tiempo fijo (IATF) ([Bó \*et al.\*, 2016](#)). Con ello, la IA puede realizarse de forma masiva, ya que no requiere la detección de celo, simplificando el trabajo y evitando las fallas en su detección ([Nowicki \*et al.\*, 2017](#)). Por años se ha indicado una asociación negativa entre vacas con producciones altas de leche y tasa de preñez baja; sin embargo, [LeBlanc \(2013\)](#) indicó que lo anterior no es necesariamente cierto, ya que los factores de una baja eficiencia reproductiva, más que a la producción de leche, es a las limitantes del manejo integral de esas vacas para cubrir sus necesidades nutricias y manejo reproductivo. Por ello, en vacas lecheras especializadas, es necesario implementar protocolos de sincronización de la ovulación que permitan establecer programas de inseminación artificial a tiempo fijo, de forma tal que se reduzca el costo operativo de los programas de inseminación con celo detectado. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el protocolo de sincronización de la ovulación Ovsynch en la tasa de preñez con la finalidad de mejorar la eficiencia reproductiva del hato especializado en producción de leche.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 2019 un hato lechero ubicado en San Felipe, Guanajuato con un clima semiárido, la temperatura media anual es de 16.7 °C, la precipitación pluvial anual promedio es de 473.4 mm<sup>3</sup>. El hato lechero contaba con 1000 vacas en línea de producción de leche.

### Animales y manejo

Se utilizaron 400 vacas multíparas Holstein con un promedio de 80 días en lactancia, aparentemente sanas y con condición corporal promedio de 2.5 (escala 1-5). El número promedio de vacas por tratamiento fue de 200, con 2.2 lactancias en promedio para

ambos grupos. Para homogenizar el ciclo estral, se aplicaron dos inyecciones intramuscular (IM) de PGF2 $\alpha$  (25 mg, Dinosprost trometamina, Lutayse<sup>®</sup>, Zoetis) con un intervalo de 14 d. Posteriormente, 11 d después de la última aplicación de PGF2 $\alpha$ , las vacas fueron asignadas al azar a dos grupos experimentales: IA a tiempo fijo con protocolo de sincronización de ovulación y IA con celo detectado.

Para la IA a tiempo fijo, se utilizó el protocolo de sincronización de la ovulación Ovsynch en cual se ilustra en la Figura 1, donde al inicio de la prueba (día 0), se aplicó una dosis de hormona liberadora de gonadotropina (GnRH; 150  $\mu$ g gonadorelina I.M., Fertagyl<sup>®</sup>, MSD); el día 7 se aplicó una dosis de PGF2 $\alpha$  (25 mg Dinosprost trometamina, Lutayse<sup>®</sup>, Zoetis I.M.) y el día 9 se administró una segunda inyección de GnRH (150 mg gonadorelina I.M.); las vacas fueron inseminadas el día 10, a las 16 horas después de la última inyección de GnRH (Pursley *et al.*, 1995).



**Figura 1. Protocolo Ovsynch para la inseminación artificial a tiempo fijo**

Al segundo grupo experimental no se le administró ninguno tratamiento hormonal, el método para la detección celos consistió en la observación visual de las vacas las cuales fueron inseminadas a celo detectado siguiendo la regla mañana y tarde (antes de cada ordeño). En todos los casos, no se realizó un programa concreto de detección de celo, sino que, dentro de la rutina de trabajo por el personal, se anotó la hora y número de la vaca que mostró celo. La IA se realizó por el mismo técnico, mediante el método de fijación cervical transrectal. El semen utilizado provenía de toros de la misma raza de las vacas en estudio.

Las vacas que repitieron celo, 21 días posteriores a la inseminación artificial, se sometieron a un nuevo tratamiento con un máximo de dos ocasiones. El diagnóstico de gestación para ambos grupos se realizó mediante ecografía transrectal con sonda lineal de 7.5 MHz (Aloka, Madrid, España) a los 30 días después de inseminadas.

### **Análisis estadístico**

Las variables medidas fueron tasa de preñez (vacas gestantes vs vacas servidas), días abiertos, días a primer estro y días a primera inseminación. Las medias fueron comparadas mediante prueba de U-Mann Whithney. Además, se realizó un análisis de



correlación de número de lactancia, días abiertos, días al primer estro y días a la primera inseminación con el número de servicio del grupo de vacas con IA a tiempo fijo y IA con celo detectado. Los procedimientos estadísticos fueron realizados con los procedimientos CATMOD y CORR mediante el software SAS (2021).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Eficiencia reproductiva

En el primer servicio, el promedio de días a primer estro y de días a primera inseminación de las vacas inseminadas a celo detectado o las inseminadas a tiempo fijo con el protocolo Ovsynch fueron similares. La tasa de preñez de las vacas con IA a tiempo fijo tuvieron un porcentaje mayor ( $P \leq 0.05$ ) en la tasa de preñez que las vacas IA a celo detectado (Tabla 1). Lo anterior indica que con el protocolo para IA a tiempo fijo, la tasa de preñez aumentó en un 17.6% en comparación con IA a celo detectado.

**Tabla 1. Eficiencia reproductiva del primer servicio en vacas lecheras inseminadas a tiempo fijo o a celo detectado**

Variable	Inseminación		Error estándar de la media	Valor de <i>P</i>
	Tiempo fijo	Celo detectado		
<b>Primer servicio</b>				
Vacas, n	200	200		
Gestantes, n	87.0	72.0	5.91	0.78
Lactancia, n	2.2	2.2	0.22	0.82
Días abiertos, d	65.0	65.2	5.17	0.88
Primer estro, d	55.7	53.9	4.75	0.46
Primera inseminación, d	64.7	65.2	3.16	0.75
Tasa de preñez, %	43.5	36.0	5.91	0.03
<b>Segundo servicio</b>				
Vacas, n	113	128		
Gestantes, n	56	43	6.99	0.82
Lactancia, n	1.9	2.4	0.39	0.33
Días abiertos, d	129.3	126.2	6.88	0.33
Tasa de preñez, %	49.5	33.6	6.01	0.04
<b>Tercer servicio</b>				
Vacas, n	57	85		
Gestantes, n	26	31	6.22	0.71
Lactancia, n	2.3	2.4	0.79	0.29
Días abiertos, d	181.3	191.5	10.99	0.12
Tasa de preñez, %	45.6	36.5	6.01	0.04
<b>Total de servicios, n</b>				
Gestantes, n	169	146	6.00	0.04
Tasa de preñez, %	45.6	35.3	5.48	0.02
Servicios por concepción, n	2.18	2.82	0.25	0.03

En el primer servicio, el número de vacas preñadas con IA a tiempo fijo fue 21% mayor ( $P < 0.05$ ), en el segundo servicio fue 30 % mayor ( $P < 0.05$ ) y en el tercer servicio fue 25% mayor ( $P < 0.05$ ) comparados con el protocolo a celo detectado. El promedio de días a primer estro y de días a primera inseminación de las vacas IA a celo detectado o tiempo fijo fueron similares. El incremento en la tasa de preñez representó el 19% mayor de



vacas preñadas por el protocolo de IA a tiempo fijo en comparación con celo detectado; ambos grupos promediaron 2.4 lactancias y más de 180 días abiertos. De esta forma, la IA a tiempo fijo mejoró la tasa de preñez de casi un 25% en comparación con IA a celo detectado. Además, las vacas IA a tiempo fijo tuvieron 10 días abiertos menos, 9 días menos a su primer servicio.

El incremento ( $P \leq 0.05$ ) en la tasa de gestación por efecto del protocolo de IA a tiempo fijo fue del 29% mayor que IA a celo detectado. Además, para el grupo de vacas IA a tiempo fijo, los servicios por concepción fueron menores en un 22.6% que IA a celo detectado (Tabla 1). Resultados similares fueron encontrados por [Gamarra & Cabrera \(2014\)](#) quienes encontraron que la tasa de concepción y tasa de preñez al primer servicio fue mayor con el protocolo Ovsynch e IA a tiempo fijo que con IA a celo detectado, concluyendo que el protocolo con IA a tiempo fijo fue pertinente para la rentabilidad del hato.

El análisis de correlación de número de lactancia, días abiertos, días al primer estro y días a la primera inseminación con el número de servicio del grupo de vacas IA a tiempo fijo y IA a celo detectado indicó que las variables no están asociadas y muestran independencia (Tabla 2).

**Tabla 2. Correlación entre número de lactancia, días abiertos, días a primer estro y días a primera inseminación de las vacas IA a tiempo fijo y celo detectado**

Número de servicio	Número de Lactancia	Días abiertos	Días al estro	Primera inseminación d
Tiempo fijo				
1	-0.02406 <sup>a</sup> 0.8112 <sup>b</sup>	-0.09721 0.3335	-0.05423 0.5901	-0.08113 0.4199
2	0.22299 0.4435	0.59786 0.1239	0.34846 0.221	0.39212 0.1655
3	0.22037 0.5150	0.47433 0.1405	0.56659 0.0692	-0.27279 0.4170
Celo detectado				
1	0.04181 <sup>a</sup> 0.6780 <sup>b</sup>	0.15733 0.1161	0.05281 0.5999	0.15733 0.1161
2	-0.16205 0.5799	0.42144 0.1334	0.13950 0.6343	0.22115 0.4474
3	-0.11264 0.7416	-0.31383 0.3473	0.05983 0.8613	0.24874 0.4608

<sup>a</sup> Coeficiente de correlación; <sup>b</sup> Probabilidad > R

El incremento de la eficiencia reproductiva lograda a través del protocolo de IA a tiempo fijo pudo ser debido a que se logró optimizar el desarrollo folicular y se tuvo una mayor certeza de que la ovulación ocurrió de forma simultánea a la IA ([Carvalho et al., 2015](#)). Algunos estudios ([Ramírez-Iglesia et al., 2014](#); [Rodríguez-Martínez et al., 2018](#)) indican similitudes en la tasa de concepción cuando las vacas son inseminadas a tiempo fijo o a celo detectado. Estos estudios indican que la falta de respuesta al protocolo Ovsynch está relacionada con los días postparto en los cuales es aplicado, observándose menores tasas de gestación cuando las vacas son sincronizadas entre el día 60 y 75 (26%) en



comparación cuando se sincronizan después del día 76 (43%); en este experimento las vacas tenían 80 días en lactancia por lo que se puede considerar como un momento ideal para la aplicación del protocolo utilizado. Lo anterior había sido confirmado por Santos *et al.* (2017) quienes mejoraron la fertilidad de vacas lecheras con un doble protocolo Ovsynch para IA a tiempo fijo, como resultado del posible aumento de las concentraciones de P4 durante crecimiento del folículo dominante junto con la ovulación de folículos dominantes más pequeños cuando las vacas son sometidas a AI después de que un protocolo doble Ovsynch que en vacas que fueron inseminadas después de un celo detectado (Wiltbank *et al.*, 2011a; Wiltbank *et al.*, 2011b). Además, el momento de la inseminación relativo con la ovulación es más preciso cuando las vacas están subcomprometidas con un protocolo de sincronización que cuando son inseminados después de un celo detectado (Valenza *et al.*, 2012; Wiltbank *et al.*, 2015).

La aplicación inicial de GnRH exógena, induce la liberación de la hormona luteinizante (LH) provocando la ovulación del folículo dominante provocando la emergencia de una nueva ola folicular, y la administración de PGF2 $\alpha$  provoca la regresión del cuerpo lúteo formado. La dosis subsecuente de GnRH estimula nuevamente el pico preovulatorio de LH, lo que genera que el nuevo folículo dominante libere al ovulo de forma sincrónica (Pursley *et al.*, 1995; Pursley *et al.*, 1997). Este proceso se realiza de forma cíclica cuando las vacas no quedan gestantes en el primer servicio, y es necesario repetir el protocolo, estas vacas logran una sincronización homogénea, y la IA se realiza más próxima al momento de la ovulación, lo que podría explicar el incremento total en el número de animales gestantes (15.7%), la tasa de preñez (29.1%) y la reducción del número de servicios por concepción (0.64) ( $P \leq 0.05$ ) con el protocolo de IA a tiempo fijo, comparados con la detección de celos.

## CONCLUSIÓN

El protocolo para realizar la IA a tiempo fijo, mejora la tasa de gestación y reduce los servicios por concepción, durante el primero, segundo y tercer servicio, en comparación con la IA a celo detectado. Por ello, la implementación del protocolo Ovsynch para realizar inseminación artificial a tiempo fijo es una alternativa viable en sustitución de un protocolo de inseminación a celo detectado, específicamente cuando no se cuenta con personal capacitado o con experiencia para detectar efectivamente la presencia de celos. Sin embargo, se requieren realizar más investigación para determinar si esta mejora en la eficiencia reproductiva impacta positivamente en la rentabilidad de las operaciones bovinas especializadas en producción de leche.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Todos los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.



## LITERATURA CITADA

BIHON A, Assefa A. 2021. Prostaglandin based estrus synchronization in cattle: A review. *Cogent Food & Agriculture* 7: 1932051. ISSN:2331-1932.  
<https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1932051>

BÓ GA, de la Mata JJ, Baruselli PS, Menchaca A. 2016. Alternative programs for synchronizing and resynchronizing ovulation in beef cattle. *Theriogenology* 86(1):388-396. ISSN:0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.053>

CARVALHO PD, Fuenzalida MJ, Ricci A, Souza AH, Barletta RV, Wiltbank MC, Fricke PM. 2015. Modifications to Ovsynch improve fertility during resynchronization: Evaluation of presynchronization with gonadotropin-releasing hormone 6 d before initiation of Ovsynch and addition of a second prostaglandin F2 $\alpha$  treatment. *Journal of Dairy Science* 98(12):8741-8752. ISSN:0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9719>.

FRICKE PM, Wiltbank MC. 2022. Symposium review: The implications of spontaneous versus synchronized ovulations on the reproductive performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 105(5):4679-4689, ISSN:0022-0302.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21431>.

GAMARRA CS, Cabrera VP. 2014. Análisis técnico-económico de un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo (OVSYNCH®) en comparación con celo detectado en vacas Holstein. *Anales Científicos* 75(11):191-201. ISSN:2519-7398.  
<https://doi.org/10.21704/ac.v75i1.950>

LEBLANC SJ. 2013. Is a high level of milk production compatible with good reproductive performance in dairy cows. *Animal Frontiers* 3(4):84-91. ISSN:2160-6064.  
<https://doi.org/10.2527/af.2013-0038>

NOWICKI A, Barański W, Baryczka A, Janowski T. 2017. OvSynch protocol and its modifications in the reproduction management of dairy cattle herds - an update. *Journal of Veterinary Research* 61(3):329-336. ISSN:2450-8608.  
<https://doi.org/10.1515/jvetres-2017-0043>.

PURSLEY JR, Mee MO, Wiltbank MC. 1995. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2 $\alpha$  and GnRH. *Theriogenology* 44(7):915-923. ISSN:0093-691X.  
[https://doi.org/10.1016/0093-691X\(95\)00279-H](https://doi.org/10.1016/0093-691X(95)00279-H)

PURSLEY JR, Wiltbank MC, Stevenson JS, Ottobre JS, Garverick HA, Anderson LL. 1997. Pregnancy rates per artificial insemination for cows and heifers inseminated at a synchronized ovulation or synchronized estrus. *J Dairy Sci* 80:295-300.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75937-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75937-X)



RAMÍREZ-IGLESIA LN, Roman Bravo RM, Díaz de Ramirez A, Torres LJ. 2014. Fertility in Gyr cows (*Bos indicus*) with fixed time artificial insemination and visual estrus detection using a classification table. *Journal of Veterinary Medicine* 2014:404363.

<https://doi.org/10.1155/2014/404363>

RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ R, Chavarría Neri IC, Meza-Herrera CA, Alvarado-Espino AS, Morales Cruz JL, González-Álvarez VH, Calderón-Leyva MG, Vélizv Deras FG, Ángel-García O. 2018. Eficiencia reproductiva de Ovsynch + CIDR en vacas Holstein bajo un esquema de inseminación artificial a tiempo fijo en el norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9(3):506-517. ISSN:2448-6698.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4300>

SANTOS VG, Carvalho PD, Maia C, Carneiro B, Valenza A, Fricke PM. 2017. Fertility of lactating Holstein cows submitted to a double-Ovsynch protocol and timed artificial insemination versus artificial insemination after synchronization of estrus at a similar day in milk range. *Journal of Dairy Science* 100(10):8507-8517. ISSN:0022-0302.

<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13210>

SAS On Demand for Academics Dashboard. 2021. SAS Institute Inc. North Carolina State University. <https://welcome.oda.sas.com/home>

Valenza A, Giordano JO, Lopes Jr G, Vincenti L, Amundson MC, Fricke PM. 2012. Assessment of an accelerometer system for detection of estrus and treatment with gonadotropin-releasing hormone at the time of insemination in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 95:7115–7127. ISSN:0022-0302.

<https://doi.org/10.3168/jds.2012-5639>

Wiltbank MC, Sartori R, Herlihy MM, Vasconcelos JLM, Nascimento AB, Souza AH, Ayres H, Cunha AP, Keskin A, Guenther JN, Gumen A. 2011a. Managing the dominant follicle in lactating dairy cows. *Theriogenology* 76:1568-1582. ISSN:0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.08.012>

Wiltbank MC, Souza AH, Carvalho PD, Bender RW, Nascimento AB. 2011b. Improving fertility to timed artificial insemination by manipulation of circulating progesterone concentrations in lactating dairy cattle. *Reproduction Fertility and Development* 24(1):238-243. <https://doi.org/10.1071/RD11913>

Wiltbank MC, Baez GM, Cochrane F, Barletta RV, Trayford CR, Joseph RT. 2015. Effect of a second treatment with prostaglandin F<sub>2α</sub> during the Ovsynch protocol on luteolysis and pregnancy in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98:8644-8654.

<https://doi.org/10.3168/jds.2015-9353>

Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-11. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.9>

Nota de Investigación. Recibido:21/12/2022. Aceptado:19/04/2024. Publicado:17/06/2024. Clave: e2022-80.

<https://www.youtube.com/watch?v=roFA6esJL4k>

## Reproducción de microorganismos de montaña para uso en agua de bebida en sector pecuario

Reproduction of mountain microorganisms for use in drinking water in the livestock sector



Tarsicio Medina-Saavedra<sup>\*1ID</sup>, Lilia Mexicano-Santoyo<sup>2ID</sup>, Gabriela Arroyo-Figueroa<sup>1ID</sup>, Carlos Herrera-Mendez<sup>1ID</sup>, Emmanuel Pérez-Hernández<sup>1ID</sup>, Juan Picazo-Ramírez<sup>1ID</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Guanajuato, México. <sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Roque, División de Posgrado e Investigación, Km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, C. P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. \*Autor de correspondencia: Tarsicio Medina-Saavedra. Privada Arteaga s/n, Col. Centro, C.P. 38900, Salvatierra, Guanajuato, México. E-mail: tarsicioms@hotmail.com, lilia\_lasalle@hotmail.com, g.arroyo@ugto.mx, chmendez@ugto.mx, e.perezhernandez@ugto.mx, jcpicazoramirez@ugto.mx

### RESUMEN

Los microorganismos de montaña se utilizan en la agricultura para mejorar la germinación y crecimiento de los cultivos y control de fitopatógenos. En el sector pecuario al ser utilizados como probióticos en el agua de bebida o en el alimento, pueden mejorar la calidad en los animales de granja. El objetivo fue recolectar y reproducir microorganismos de montaña para la elaboración de disoluciones en agua de bebida para animales. Se recolectó hojarasca de una zona poco afectada por las actividades antrópicas y se almacenó en fase sólida anaeróbica, posteriormente los microorganismos fueron reactivados en fase líquida durante 24, 48 y 72h. En la fase sólida y líquida se determinó la cuenta total de microorganismos. Se comprobó coliformes totales en los diferentes periodos de activación en fase líquida y finalmente se realizaron diluciones en agua de bebida al 20% y se determinó la cuenta total de microorganismos presentes en ellas. Los resultados muestran que el tiempo de activación influye sobre el número de poblaciones microbianas y que las diluciones al 20% no contienen la cantidad de microorganismos necesarios para ser administradas a los animales por lo cual es necesario adicionar una mayor cantidad de activados líquidos en el agua de bebida.

**Palabras clave** microorganismos nativos, crecimiento microbiano, probiótico.

### ABSTRACT

Mountain microorganisms are used in agriculture to improve crop germination and growth and to control phytopathogens. In the livestock sector, when used as probiotics in drinking water or feed, they can improve the quality of farm animals. The objective was to collect and reproduce mountain microorganisms for the preparation of solutions in drinking water for animals. Leaf litter was collected from an area little affected by anthropic activities and stored in anaerobic solid phase, later the microorganisms were reactivated in liquid phase for 24, 48 and 72h. In the solid and liquid phase, the total count of microorganisms was determined. Total coliforms were checked in the different periods of activation in the liquid phase and finally 20% dilutions were made in drinking water and the total count of microorganisms present in them was determined. The results show that the activation time influences the number of microbial populations and that the 20% dilutions do not contain the amount of microorganisms necessary to be administered to the animals, therefore it is necessary to add a greater amount of activated liquids in the water of drink.

**Keywords:** native microorganisms, microbial growth, probiotic.



## INTRODUCCIÓN

Los microorganismos de montaña (MM) que provienen de ecosistemas naturales poco afectados por factores antrópicos, suelen ser extraídos de un sistema natural para ser reproducidos y utilizados en la producción tanto pecuaria como agrícola (Martínez-Ocampo & Acosta, 2014), como una comunidad de microorganismos formada por hongos y bacterias (Ávila *et al.*, 2021). En el sector agrícola son utilizados para mejorar la estructura y fertilidad del suelo, la germinación de las semillas, la floración y desarrollo de los frutos y para suprimir agentes fitopatógenos en las zonas de cultivo (Tanya-Morocho & Leiva-Mora, 2019). Por otra parte, en el sector pecuario hay una gran preocupación debido al uso de antibióticos como promotores de crecimiento y sus efectos sobre la salud humana. Por este motivo, se requiere utilizar nuevas alternativas que contribuyan a mejorar la calidad en los animales de granja. En este sentido, el uso de probióticos en la dieta del ganado puede contribuir a mejorar la calidad de estos (Al-Shawi *et al.*, 2020).

En el sector pecuario, los microorganismos suelen ser administrados como probióticos en el alimento o el agua de bebida, debido a que pueden reducir las enfermedades entéricas y mejorar los parámetros de producción (Melara *et al.*, 2022). Los probióticos administrados a los animales son principalmente bacterias, aunque algunos hongos también pueden cumplir la función de probióticos ya que pueden estimular el crecimiento de las comunidades bacterianas benéficas y de esta manera mejorar la flora intestinal y la inmunidad (Banick *et al.*, 2019). Los mecanismos que se les han atribuido son: la interacción directa con las células del huésped, la inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos y la modulación de las respuestas inmunes por parte del huésped (Karimi-Torshizi *et al.*, 2010). Por lo antes mencionado, el objetivo de este trabajo fue recolectar y reproducir microorganismos de montaña para la elaboración de disoluciones en agua de bebida que se puedan ser utilizadas como probióticos en el agua de bebida en el sector pecuario animales de granja.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Captura de microorganismos y almacenamiento en fase anaeróbica

La captura y reproducción de los Microorganismos de Montaña (MM) se llevó a cabo en dos etapas. La primera etapa consistió en recolectar 3 Kg hojarasca en estado descomposición del cerro de Culiacán ubicado en Salvatierra, Guanajuato, México con coordenadas 20°19'58"N 100°58'52"O a 2,509 msnm de acuerdo con Google earth. En una primera etapa la hojarasca fue colocada en un recipiente de 20 L y se mezcló con 6 kg de harina de maíz (*Zea mays* L.), 1.5 kg de melaza y 2 L agua hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente se realizó la prueba de puño de acuerdo con Restrepo (2007), la cual se utiliza para medir el porcentaje de humedad en el sustrato. La mezcla fue compactada en un recipiente de 20 L, el recipiente fue cerrado y sellado



para evitar la presencia de oxígeno y se reservó por un periodo de 30 días. Transcurrido el periodo se repitió el proceso en una segunda etapa, tomando 10 kg de producto anterior y se mezclaron con 6 kg de harina de maíz, 1.5 kg de melaza y 2 L agua y se reservó durante un periodo de 30 días fase anaerobia.

### **Activación de microorganismos en fase líquida**

Para la reactivación de los microorganismos se utilizaron 3 recipientes que contenían 100 g de melaza disuelta en 20 L de agua no clorada. Adicionalmente, se cortaron 3 tramos de manta cruda de 30 X 30 cm en los cuales se envolvieron 500 g de muestra en fase sólida. Posteriormente, las mantas fueron sumergidas en los recipientes (una muestra por envase) y se le incorporó oxígeno mediante una bomba de aireación para pesera. Cada recipiente correspondía a un periodo de activación, es decir, el tiempo de incorporación de oxígeno, siendo así que se tuvieron tres periodos de activación 24, 48 y 72 h. Finalmente, con los activados líquidos se prepararon diluciones a una concentración del 20% de MM de acuerdo con lo sugerido por [Restrepo & Agredo \(2020\)](#) para especies menores.

### **Cuenta total de microorganismos**

Para determinar la cuenta total de microorganismos presentes en las muestras, se tomó 1 g de muestra de la fase sólida y 1 mL en el caso de la fase líquida (24, 48 y 72 h) y las diluciones al 20%, y se realizaron diluciones en serie de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-6}$ . Posteriormente se tomaron alícuotas de 100  $\mu$ L de cada una de las diluciones y se realizó la siembra en placa en medio de cultivo sólido de Agar Dextrosa y papa (PDA), para el crecimiento de hongos y agar nutritivo para el crecimiento bacteriano (por triplicado). Las placas inoculadas fueron incubadas a temperatura ambiente durante 24h. Transcurrido el tiempo de incubación, se realizó el conteo de las colonias bacterianas y se determinaron las UFC/mL. Para el análisis de los datos correspondientes a la fase líquida y las diluciones al 20% de los diferentes tiempos de activación se realizó un ANOVA ( $\alpha=0.05$ ) y una prueba de Tukey para la comparación de medias. Para la fase sólida se realizó una prueba t ( $\alpha=0.05$ ). Los datos se presentan como  $\text{Log}_{10}$  UFC/mL para la fase líquida y  $\text{Log}_{10}$  UFC/g de muestra para la fase sólida y se presentaron como la media  $\pm$  desviación estándar.

### **Determinación de coliformes totales**

La determinación de bacterias coliformes totales en la fase líquida fue realizada mediante el número más probable (NMP) según el protocolo propuesto por [Malkawi & Mohammad \(2003\)](#) con algunas modificaciones. Para lo cual se prepararon tubos con caldo lauril triptosa que fueron inoculados con muestras de la fase líquida de 24, 48 y 72h de activación. Los tubos inoculados con los activados líquidos fueron incubados a 35°C durante 24-48 h. Transcurrido el tiempo de incubación, se tomaron alícuotas de 100  $\mu$ L

de los tubos positivos (con presencia de gas) y se inocularon cajas Petri que contenían medio Eosina y Azul de Metileno (EMB) para confirmar la presencia de coliformes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fase sólida anaerobia y fase líquida aerobia

En la Figura 1 se muestran las fases utilizadas para la reproducción y activación de los microorganismos de montaña recolectados. En el inciso (a) se observa la fase sólida anaerobia al momento de estar sellada y al momento de abrirla donde no se observa crecimiento micelial sobre la superficie del preparado. En el inciso (b) se observa que conforme pasa el tiempo la coloración se torna más intensa en relación con su coloración inicial, debido al crecimiento exponencial de los microorganismos

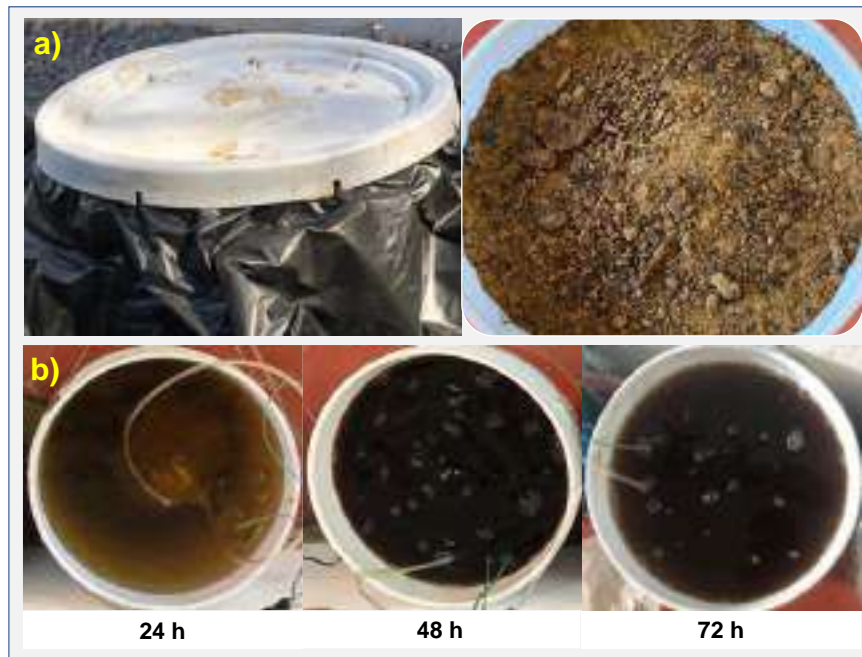


Figura 1. Reproducción de MM. a) Fase sólida anaerobia y b) Fase líquida aerobia

Méndez (2019) informa que 21 días después de la preparación de la fase sólida hubo presencia de hongos filamentosos en la superficie de la mezcla sólida, además de que esta presentaba un olor agridulce, lo que indica un buen proceso de fermentación, además comenta la presencia de levaduras en la fase líquida. En el presente trabajo, se detectó un aroma dulce, mayoritariamente a melaza. Por otra parte, como se muestra en el inciso a y el inciso b, no se observó la presencia de hongos en la superficie de la fase sólida, ni levaduras en la fase líquida. En cuanto a los activados en fase líquida, se puede observar que el color de los activados se vuelve más intenso con el aumento del tiempo de activación, es un indicativo del aumento de las poblaciones con el aumento del tiempo.



## Cuenta total de microorganismos

En la Figura 2 y 3 se muestran la cuenta total de microorganismos presentes en la fase sólida y líquida en dos tipos de medio de crecimiento (Agar nutritivo y PDA), respectivamente. En la Figura 2 se observa que el número total de microorganismos es de  $5.76 \pm 0.09 \text{ Log}_{10} \text{ (UFC/g)}$  y  $5.63 \pm 0.07 \text{ Log}_{10} \text{ (UFC/g)}$  en agar nutritivo y PDA respectivamente. Por lo tanto, el promedio de crecimiento microbiano en fase sólida anaerobia es de  $5.70 \pm 0.09 \text{ Log}_{10} \text{ (UFC/g)}$ . Además, se observó que no hubo presencia de hongos en el medio PDA en los tres tiempos de activación.

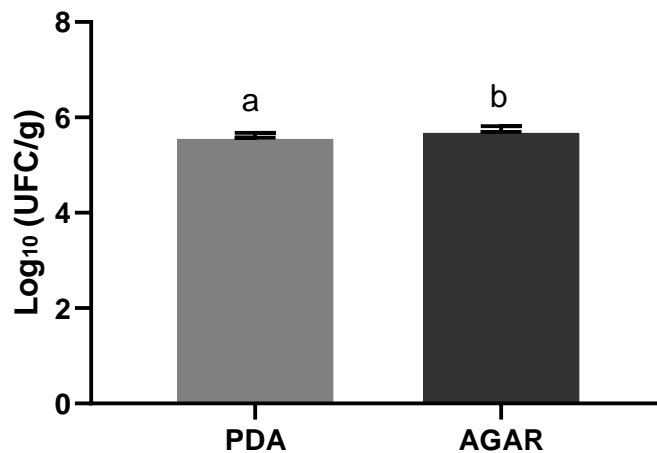


Figura 2. Número total de microorganismos presentes en la fase sólida

En la Figura 3 se presentan el número de poblaciones microbianas en fase líquida aerobia en la cual se observa que el número de microorganismos incrementa de  $5.60 \pm 0.02$  y  $3.75 \pm 0.05 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/mL}$  a las 24 h a  $8.22 \pm 0.12$  y  $8.28 \pm 0.23 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/mL}$  a las 48 h de activación. Los resultados muestran un mayor incremento en el número de las poblaciones microbianas de las 24 h a las 48 h de activación, siendo estadísticamente diferentes. Por otra parte, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tiempos 48 y 72 h, este fenómeno se observó en los dos tipos de medio de cultivo utilizados. Además, al igual que en la fase sólida, no se observó crecimiento de hongos en el medio de PDA de ninguno de los activados líquidos.

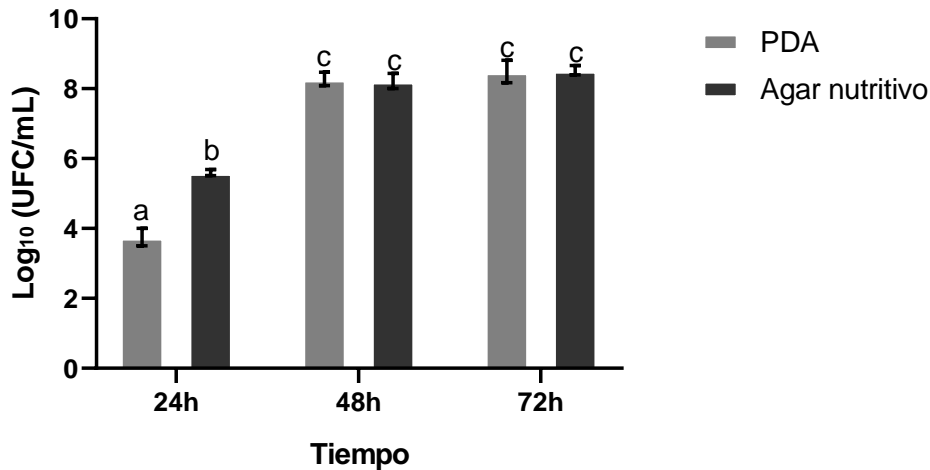


Figura 3. Número total de microorganismos presentes después de 24, 48 y 72 horas de activación en fase líquida en medio sólido agar nutritivo y PDA

Castro-Barquero & González-Acuña (2021) reportan un valor superior a 8 log<sub>10</sub> UFC/mL en activados líquidos de MM durante el día 4. Medina-Saavedra *et al.* (2021) informaron 6.47 Log<sub>10</sub> (UFC/mL), 7.6 Log<sub>10</sub> (UFC/mL) y 7.95 Log<sub>10</sub> (UFC/mL) de muestra durante la activación de microorganismos en fase líquida a las 24, 48 y 72 horas. En el presente trabajo se observó un menor número de poblaciones bacterianas al reportado por Medina-Saavedra *et al.* (2021) durante las 24 h de activación, sin embargo, las poblaciones obtenidas durante las 48 y 72 h de activación superaron a las reportadas por los autores. Cervantes, (2016) informa presencia de hongos a partir del día 7 de activación, sin embargo, en el presente trabajo no se observó presencia de hongos en ningún tipo de activación evaluados. De acuerdo con Naylor *et al.* (2022) las propiedades del suelo, como el pH, la textura, el uso del suelo y la profundidad, son factores que influyen sobre la microbiota del suelo, 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.

### Coliformes totales en fase líquida

En la Tabla 1 se presenta el número más probable (NMP) de coliformes totales en tres tiempos de activación de los MM. Se observa que el valor más bajo ocurre a las 24 h de activación (<2 NMP/ 100 mL) y el valor incrementa al aumentar el tiempo de activación a 48 h (4 NMP/100 mL) y 72 h (5 NMP/100 mL).



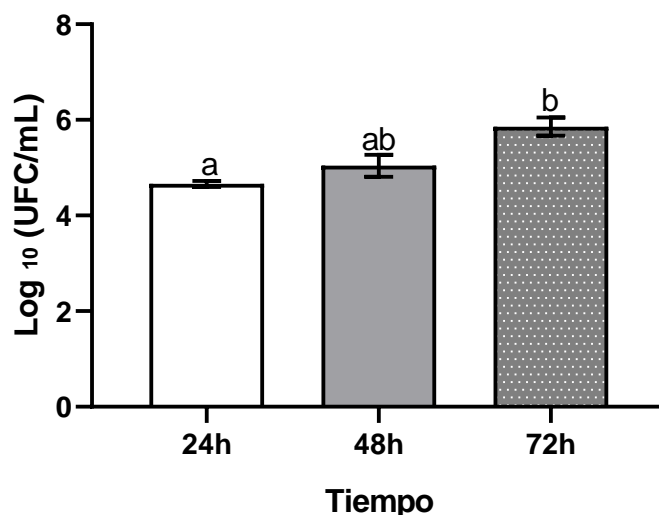
**Tabla 1. NMP de coliformes totales presentes después de la activación de los MM en fase líquida a las 24, 48 y 72h**

Tiempo de activación (horas)	NMP por 100 mL
24	<2
48	4
72	5

Según [Donald et al. \(2001\)](#) y [Petrie-Dolphin \(2022\)](#) el agua de ganado no debe superar los 5000 coliformes/ 100 mL. Por otra parte, el [Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs \(2022\)](#) comenta que el agua suministrada a los animales puede contener de 20 – 50 coliformes totales/ 100 mL, lo que sugiere que, de acuerdo con los resultados obtenidos, las soluciones con los MM activados (24, 48 y 72 h) contienen baja cantidad de coliformes, por lo tanto, son seguras y pueden ser suministradas a los animales en el agua de bebida.

#### **Cuenta total en diluciones al 20% para su uso en agua de bebida**

En la Figura 4 se muestran las poblaciones microbianas presentes en las diluciones preparadas al 20% de MM, para administrar a animales de granja elaboradas a partir de los diferentes tiempos de activación de los MM. En la Figura se observa que el menor número de microorganismos presentes en las diluciones incrementa con el tiempo de activación, siendo así que el mayor número de microorganismos se observó al preparar la dilución con MM activados por 72 h ( $5.86 \pm 0.19 \text{ Log}_{10} \text{ (UFC/mL)}$ )



**Figura 4. Cuenta total de microorganismos presentes en diluciones al 20% de MM en agua preparadas con los microorganismos activados durante 24, 48 y 72 h**



Giannenas *et al.* (2014) reportan la adición de 7.39 Log<sub>10</sub> (UFC/L) y 7.69 Log<sub>10</sub> (UFC/L) como probióticos en el agua de bebida suministrada a pollos de engorda. Mansilla *et al.* (2022) administraron 7 y 8 Log<sub>10</sub> (UFC/animal/día). Li *et al.* (2021) informan una concentración de 8 log/ día suministrado como probióticos en ratones. En el presente trabajo se propone administrar soluciones al 20% preparadas con los activados líquidos, sin embargo, el mayor número de poblaciones bacterianas fue de 5.86 ± 0.19 Log<sub>10</sub> (UFC/mL), este valor se encuentra por debajo a lo reportado en las investigaciones antes mencionadas, por lo cual se podría sugerir que es necesario preparar soluciones con una concentración más alta de microorganismos para que sean administradas en animales de granja y puedan ejercer un efecto positivo sobre la salud y conversión alimenticia de los animales.

### CONCLUSIÓN

Los microorganismos de montaña son una alternativa para ser utilizados como probióticos en el sector pecuario. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta la zona de recolección de estos, ya que esta influye sobre los tipos de microorganismos presentes en la muestra. Además, el tiempo de activación es un factor que influye sobre el número de las poblaciones microbianas en la fase líquida aerobia. Por otra parte, debido a que la concentración de microorganismos presente en las diluciones propuestas es baja, es necesario aumentar la cantidad de activados líquidos en el agua de bebida. Finalmente, los resultados correspondientes a coliformes totales muestran que los activados líquidos son seguros ya que contienen un número por debajo de límite permisible reportado para el agua de ganado y pueden ser suministrados a los animales en el agua de consumo.

### LITERATURA CITADA

AL-SHAWI SG, Dang DS, Yousif AY, Al-Younis ZK, Najm TA, Matarneh, SK. 2020. El uso potencial de los probióticos para mejorar la salud animal, la eficiencia y la calidad de la carne: una revisión. *Agricultura*. 10 (10): 452.

<https://doi.org/10.3390/agriculture10100452>

AVILA GM de A, Gabardo G, Clock DC, Lima Junior OS. 2021. Use of efficient microorganisms in agriculture. *Research, Society and Development*. 10(8). e40610817515. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17515>



BANIK A, Halder SK, Ghosh C, Mondal KC. 2019. Probióticos fúngicos: oportunidades, desafíos y perspectivas. En: Yadav A, Singh S, Mishra S, Gupta A. (eds) Avance reciente en la biotecnología blanca a través de hongos. *Biología de los hongos*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14846-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14846-1_3)

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](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242021000100081&lng=en&tlng=es)

CERVANTES T. 2016. Reproducción y aplicación de microorganismos de montaña. Ministerio de Agricultura y Ganadería: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1847.pdf>

DONALD L, Charle D, Stan C. 2001. Water quality for Livestock Drinking. <https://extension.missouri.edu/publications/eq381>

GIANNENAS I, Tsalie E, Triantafyllou E, Hessenberger S, Teichmann K, Mohnl M, Tontis, D. 2014. Assessment of probiotics supplementation via feed or water on the growth performance, intestinal morphology and microflora of chickens after experimental infection with *Eimeria acervulina*, *Eimeria maxima* and *Eimeria tenella*. *Avian pathology: journal of the W.V.P.A.* 43(3): 209–216. <https://doi.org/10.1080/03079457.2014.899430>

GOOGLE Earth, s.f. [Mapa de El Cerro El Culiacan, Salvatierra Guanajuato, México. En Google Earth]. <https://earth.google.com/web/search/Cerro+Culiac%c3%a1n,+Guanajuato/@20.33380303,-100.98177324,2514.6103019a,3954.32318078d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCZhd5c4P6DJAEZZd5c4P6DLGWRO-fAuty5AIWAIWb1XEVXA>

LI Y, Jia D, Wang J, Li H, Yin X, Liu J, Wang J, Guan G, Luo J, Yin H, Xiao S, Li Y. 2021. Probiotics Isolated From Animals in Northwest China Improve the Intestinal Performance of Mice. *Frontiers in veterinary science*. 8: 750895. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750895>

MANSILLA FI, Ficooseco CA, Miranda MH, Puglisi, E, Nader-Macías, ME, Vignolo GM, Fontana CA. 2022. Administration of probiotic lactic acid bacteria to modulate fecal microbiome in feedlot cattle. *Scientific reports*. 12(1): 12957. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16786-z>

MALKAWI HI, Mohammad MJ. 2003. Survival and accumulation of microorganisms in soils irrigated with secondary treated wastewater. *Journal of basic microbiology*. 43(1): 47–55. <https://doi.org/10.1002/jobm.200390004>



MARTÍNEZ-CAMPO A, Acosta Sánchez R. 2014. Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 12(1): 80-82.

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n1/v12n1a10.pdf>

MEDINA-SAAVEDRA T, Dzul-Cauich JG, Arroyo-Figueroa G, García-Vieyra MI., Quiñones-Páramo MD, Mexicano-Santoyo L. 2021. Microorganismos de montaña y ensilado de maíz como probióticos en la engorda de conejos. *Abanico veterinario*. 11, e401. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.7>

MÉNDEZ RC. 2019. Evaluación de Microorganismos de Montaña MM como aceleradores de compostaje par es de compostaje para la producción de cultivos aromáticos. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Salle. Departamento de Ciencias Básicas. Bogotá D.C.

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=biologia>

MELARA EG, Avellaneda MC, Valdivié M, García-Hernández Y, Aroche R, Martínez Y. 2022. Probióticos: Relación simbiótica con el huésped animal. *Animales*. 12(6): 719. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani12060719>

NAYLOR D, McClure R, Jansson, J. 2022. Trends in Microbial Community Composition and Function by Soil Depth. *Microorganisms*. 10(3): 540. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms10030540>

KARIMI-TORSHIZI MA, Moghaddam AR, Rahimi S, Mojgani, N. 2010. Assessing the effect of administering probiotics in water or as a feed supplement on broiler performance and immune response. *British Poultry Science*. 51(2): 178–184.

<http://dx.doi.org/10.1080/00071661003753756>

MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS. 2022. Water Quality for Horses - Understanding Bacterial Counts.

[http://omafra.gov.on.ca/english/livestock/horses/facts/info\\_water\\_dec0398.htm](http://omafra.gov.on.ca/english/livestock/horses/facts/info_water_dec0398.htm)

PETRIE-DOLPHIN D. 2022. Cawoodsupporting a safer, healthierplanet. Water quality and its effect on livestock: pigs and cattle. <https://cawood.co.uk/blog/water-quality-and-its-effect-on-livestock-pigs-and-cattle/>

RESTREPO-RIVERA J, Agredo-España D. 2020. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Mierda de vaca. CAROLINA CARDONA. Santiago de Cali, Colombia. Pp. 482. ISBN:978-958-49-0235-1

RESTREPO-RIVERA J. 2007. El ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas / Jairo Restrepo Rivera. 1a ed. Managua: SIMAS. Pp. 262.

<https://drive.google.com/file/d/1HMSw6KnTTHcXnL0jsS1ZmtCNrmgcdVn8/view>



TANYA-MOROCHO M, Leiva-Mora M. 2019. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*. 46(2): 93-103.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es)

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



**Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.15>**  
**Estudio de Caso. Recibido: 21/10/2022. Aceptado:20/07/2024. Publicado: 19//2024. Clave: e2022-71.**  
**<https://www.youtube.com/watch?v=ZPKXVtgYmp0>**

## **Caracterización molecular y serológica de *Anaplasma marginale* en la región transfronteriza noreste de México**

Molecular and serological characterization of *Anaplasma marginale* in the northeast transboundary region of Mexico



**Pérez-Arriaga Edgar<sup>1ID</sup>, Nava-Jauregui Héctor<sup>2ID</sup>, Azuara-Domínguez Ausencio<sup>1ID</sup>, Garza-Flores Rodolfo<sup>3ID</sup>, Valenzuela-Fernández Raúl<sup>3ID</sup>, Merino-Charrez Octavio<sup>2\*ID</sup>**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Boulevard Emilio Portes Gil núm. 1301 Poniente, Apartado Postal 175, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87010. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Km. 5 Carretera Victoria-Mante, CP 87000 Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller” Centro Universitario Tampico-Madero, Tampico, Tamaulipas, México. \*autor de correspondencia: Merino-Charrez Octavio. E-mail: edgar.pa@cdvictoria.tecnm.mx, hanava@docentes.uat.edu.mx, ausencio.ad@cdvictoria.tecnm.mx, rogarza@docentes.uat.edu.mx, jraul@docentes.uat.edu.mx, omerino@docentes.uat.edu.mx

### **RESUMEN**

La anaplasmosis es un padecimiento causado por las rickettsias *Anaplasma spp*, sin embargo, *Anaplasma marginale* es el agente causal de la anaplasmosis bovina cuya patogenicidad es la más alta entre todas las especies. No obstante, en la región noreste de México no existe información actualizada que permita caracterizar la epidemiología de la enfermedad en la región, por lo tanto, en el presente estudio se muestrearon 50 bovinos que provenían de la región transfronteriza México-USA en el estado de Tamaulipas durante el periodo de abril a octubre del año 2021. El diagnóstico se llevó a cabo mediante elaboración de frotis, reacción en cadena de la polimerasa y ELISA. Los resultados obtenidos permiten corroborar la presencia de *A. marginale* en algunos municipios muestreados, aunado a esto se confirmó que la PCR continúa siendo el método más eficiente para realizar el diagnóstico de este patógeno debido a su alta sensibilidad, esto inclusive antes de que los animales presenten los signos clínicos de la enfermedad o que los parámetros sanguíneos presente variación alguna como resultado de la infección.

**Palabras clave:** bovino, infección, anaplasmosis, diagnóstico, PCR.

### **ABSTRACT**

Anaplasmosis is a disease caused by rickettsiae *Anaplasma spp*, however *Anaplasma marginale* is the causal agent of bovine anaplasmosis whose pathogenicity is the highest among all species. Nevertheless, in the northeastern region of Mexico there is no updated information that allows characterize the epidemiology of the disease, therefore in the present study 50 bovines coming from the transboundary region Mexico-USA in the state of Tamaulipas were tested during the period from April to October of the year 2021. The diagnostic was carried out by blood smears, PCR and ELISA and the results obtained allow corroborate the presence of *A. marginale* in some sampled municipalities, in addition to this we confirm that PCR continues to be the most efficient method for the diagnostic of this pathogen due to the high sensitivity, even before the animals show the clinical signs of the disease or that the blood parameters present some variation as result of the infection.

**Keywords:** bovine, infection, anaplasmosis, diagnostic, PCR.



## INTRODUCCIÓN

La anaplasmosis es considerada un padecimiento producido por la rickettsia *Anaplasma spp.* (Rickettsiales: Anaplasmatacea), su distribución geográfica se ubica en regiones tropicales y subtropicales en el mundo, pero principalmente en México, centro y Sudamérica, así como en las islas del caribe (Ogata *et al.*, 2021; Lira-Amaya *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2022; Dantán-González *et al.*, 2022). De las especies pertenecientes al género *Anaplasma*, la especie *Anaplasma marginale* (*A. marginale*), se considera como la más patógena de todas y su distribución, abarca más del 50% del país (Brayton, 2012). *A. marginale* es un hemoparásito intracelular obligado, de forma esférica, con un diámetro de aproximadamente de 0.3  $\mu\text{m}$ , ésta se ubica en la región interior periférica del eritrocito del bovino y al microscopio puede verse como un cuerpo de inclusión. La gran mayoría de los organismos que pertenecen a la familia *Anaplasmataceae* son patógenos intracelulares y dentro del género *Anaplasma* incluye algunos patógenos que pueden afectar rumiantes como lo son *Anaplasma marginale*, *A. centrale*, *A. bovis*, *A. Ovis* y *A. phagocytophilum* éste último puede afectar también equinos, perros e inclusive al humano (Silaghi *et al.*, 2017; Curtis *et al.*, 2021; Ghosh *et al.*, 2021).

Dentro de los primeros síntomas de la anaplasmosis se encuentra la fiebre y anemia cuyos valores variarán de acuerdo con el número de eritrocitos que sean parasitados por este patógeno. También puede haber una disminución en el hematocrito y pueden aparecer eritrocitos inmaduros en frotis. En los bovinos jóvenes suele variar el grado de anemia, sin embargo, en animales adultos y esplenectomizados las afecciones son mayores (Zeb *et al.*, 2020; Eleftheriou *et al.*, 2022). La infección suele presentarse cuando la garrapata ingiere el hemoparásito al alimentarse de un animal portador, dentro de la garrapata *A. marginale* inicia su multiplicación en las células intestinales, después migra a través de la hemolinfa a las glándulas salivales, donde se multiplicará nuevamente y finalmente por medio de la picadura es liberado cuando la garrapata infesta y pica un huésped sano, con lo cual se inicia de nuevo el ciclo en los bovinos, en los animales infectados el estado de portador puede durar toda la vida e incluso el parásito puede no ser siempre detectado en la sangre (Zabel & Agosto, 2018). Algunas moscas hematófagas como la mosca del cuerno (*Haematobia irritans*) o la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) así como algunos tábanos y mosquitos de los géneros *Anopheles sp* y *Psorophora spp* pueden fungir como transmisores mecánicos además de algunas herramientas o material contaminado con sangre de animales infectados (Rezende-Araújo *et al.*, 2021).

Dado que el genoma de *A. marginale* es circular, y el tamaño es estimado es de 1.6 Mb aproximadamente, algunas investigaciones en los últimos 20 años se han centrado en la identificación y uso de las principales proteínas de la superficie MSP (Major Surface



Protein) (MSP1a, MSP1b, MSP2, MSP3, MSP4, y MSP5) para el diagnóstico de este patógeno (Watthanadirek *et al.*, 2021; Kamani *et al.*, 2022). Específicamente MSP5 está codificadas por un solo gen característica que le permite diagnosticar con certeza la presencia del patógeno aún cuando la infección se encuentre en una etapa inicial (Cabezas-Cruz & de la Fuente, 2015; Quiroz-Castañeda *et al.*, 2016). Basados en esta información y debido a la importancia que *A. marginale* representa en la industria ganadera del norte del país se hace necesaria la implementación de técnicas que permitan inicialmente diagnosticar la enfermedad y posteriormente en base a la interpretación epidemiológica, establecer medidas sanitarias enfocadas a controlar la diseminación del patógeno (Rodríguez-Camarillo *et al.*, 2020; Castañeda-Ortiz *et al.*, 2015).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Área de estudio y obtención de muestras sanguíneas

El presente trabajo se realizó en el estado de Tamaulipas. El muestreo fue realizado durante el período comprendido entre los meses de abril a octubre el año 2021 temporada que por sus condiciones climáticas presenta los picos de infestaciones por vectores. Debido a las consideraciones en el tiempo y el costo se utilizó un muestreo no probabilístico, aleatorio por conveniencia en el cual se analizaron las muestras sanguíneas de 50 bovinos en el laboratorio estatal de salud animal de Tamaulipas. Para la obtención de las muestras se contó con la ayuda de un Médico Veterinario Zootecnista y personal capacitado. Con la finalidad de evaluar el hematocrito, elaborar frotis y PCR se obtuvieron 3ml de sangre directamente de la vena coccígea mediante el uso de tubos (BD Vacutainer®) con anticoagulante EDTA K2 (ácido etilendiaminotetraacético potásico), cada muestra fue dividida en tres alícuotas. Así mismo se obtuvieron 3ml de sangre utilizando tubos sin anticoagulante para obtener suero, ambos tubos se mantuvieron a 8°C durante su transporte. Todos los trabajos fueron aprobados por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas con número de autorización CBBA-14-10, oficio 11071 21-P.

### Análisis microscópico

Con la finalidad de identificar *A. marginale* mediante la ayuda del microscopio, se elaboraron frotis sanguíneos, colocando una gota fina de sangre en el portaobjetos, con otro portaobjetos se realizó el extendido en un ángulo de 30°, y secándolo de forma manual, con la finalidad de que las células no sufrieran crenación, después fueron fijados con metanol durante 5 minutos y teñidos con colorante Giemsa al 10%, transcurridos 15 minutos las laminillas fueron lavadas con agua destilada y se dejaron secar, finalmente se examinaron como mínimo 30-50 campos en el microscopio con el objetivo de inmersión (100X) en busca del parásito.



### **Análisis de microhematocrito**

Las muestras de sangre colectadas en la alícuota 1 se colocaron en un mezclador de tubos, con la finalidad de homogenizar la muestra, posterior a ello con un tubo capilar se tomó una muestra tratando de llenar tres cuartas partes del capilar, se selló con fuego la parte anterior del tubo y fue centrifugado a 12,000 revoluciones por minuto, durante cinco minutos.

Posteriormente, se retiró el tubo capilar de la centrifuga y se colocó en una base blanca en posición vertical para dar la lectura con la siguiente fórmula:

### **Fórmula**

Hematocrito (%) =  $((L1) / (L2)) \times 100$

L1= Altura del paquete globular.

L2= Altura de la muestra total.

### **Diagnóstico mediante PCR**

Finalmente, con la alícuota 3 se realizó la extracción de DNA mediante el kit ReliaPrep™ Blood gDNA Miniprep System siguiendo las instrucciones del fabricante. Para determinar la concentración y pureza del ADN, este fue analizado utilizando un espectrofotómetro (NanoDrop2000®, Thermo Scientific, Waltham, MA, Estados Unidos) sobre el cual se colocó 1µl del ADN extraído de cada muestra y posteriormente 1µl de solución para blanquear. Finalmente, las muestras fueron conservadas a -20°C hasta la elaboración de la PCR punto final.

Las muestras de ADN fueron examinadas mediante PCR utilizando el kit GoTaq Green Master Mix, 2x (Pro- mega, Madison, WI, USA) siguiendo las instrucciones del fabricante y utilizando los primers A. Marg-F 5'TCCTCGCCTTGCCCCTCAGA-3', y A. Marg-R 5'TACACGTGCCCTACCGACTTA-3' (Guillemi *et al.*, 2016) los cuales amplifican una región de 345 pb del gen MSP5. Posteriormente las muestras fueron cicladas en el termociclador (Applied Biosystems™ Num:2720) utilizando los siguientes ciclos y temperaturas de 95°C por 30 segundos para la desnaturalización, 60°C por 30 segundos en el alineamiento y 72°C por 30 segundos para la elongación por 35 ciclos. Finalmente, los productos amplificados fueron analizados en gel de agarosa al 2% teñido con Diamond Nucleic Acid Dye (Promega, Madison, WI USA. Cat.Num: H1181), utilizando un marcador de peso molecular de 100 bp DNA Ladder (Promega, Madison, WI USA. Cat. Num: G210A) como referencia y electroforados a 120 voltios durante 40 minutos para ser visualizados utilizando el sistema de fotodocumentación ENDURO GDS (LABNET)

### **Determinación de anticuerpos mediante ELISA**

Los sueros fueron obtenidos de las muestras recolectadas en los tubos sin anticoagulante mediante la centrifugación a 1500 rpm, posteriormente fueron incubados en una placa de ELISA (immulon) cubierta previamente con un antígeno específico de A.



*Marginale* (0.1mg/pocillo) durante toda la noche a 4°C y lavada tres veces con PBS+0.05% Tween 20 (PBS-T), y bloqueando los sitios de unión inespecíficos con Albumina de suero bovino (BSA) durante una hr a 37°C, todas las muestras fueron analizadas por triplicado. Los títulos de anticuerpos fueron determinados utilizando un espectrofotómetro (iMark, Bio-Rad) a 450nm de longitud de onda y considerados positivos cuando se obtuvo una densidad óptica (DO) dos veces mayor al promedio de los negativos (0.4) a una dilución 1:100 en los cuales se utilizó PBS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados de microscopía y de hematocrito

El análisis microscópico de las muestras reveló que al menos 18 de las muestras obtenidas presentaban estructuras compatibles con *A. marginale* (Figura 1), lo cual nos indica que posiblemente algunos de estos animales cursaban una infección clínica ya que cuando la infección es crónica no expresa un elevado nivel de parasitemia como para ser detectado con la tinción y aunque todas las muestras presentaron estas estructuras en la periferia del eritrocito, no se puede discernir si la infección es causada por *A. marginale* o *A. centrale*. Cuando se analizaron los niveles de hematocrito de la población no se encontró una disminución significativa en los valores de estos (35.5%) con respecto a los valores de referencia (24-46%). Si bien los resultados de la identificación de *A. marginale* mediante microscopía fueron similares a los obtenidos por PCR y ELISA, algunos autores afirman que la identificación mediante el uso del microscopio como método de diagnóstico no es confiable principalmente por que en algunos casos la parasitemia no es alta y suele pasar desapercibida por el ojo humano (Noaman & Shayan, 2010; Pradeep *et al.*, 2019; Bisen *et al.*, 2021).

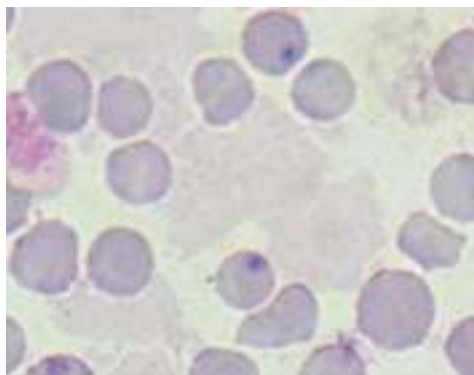
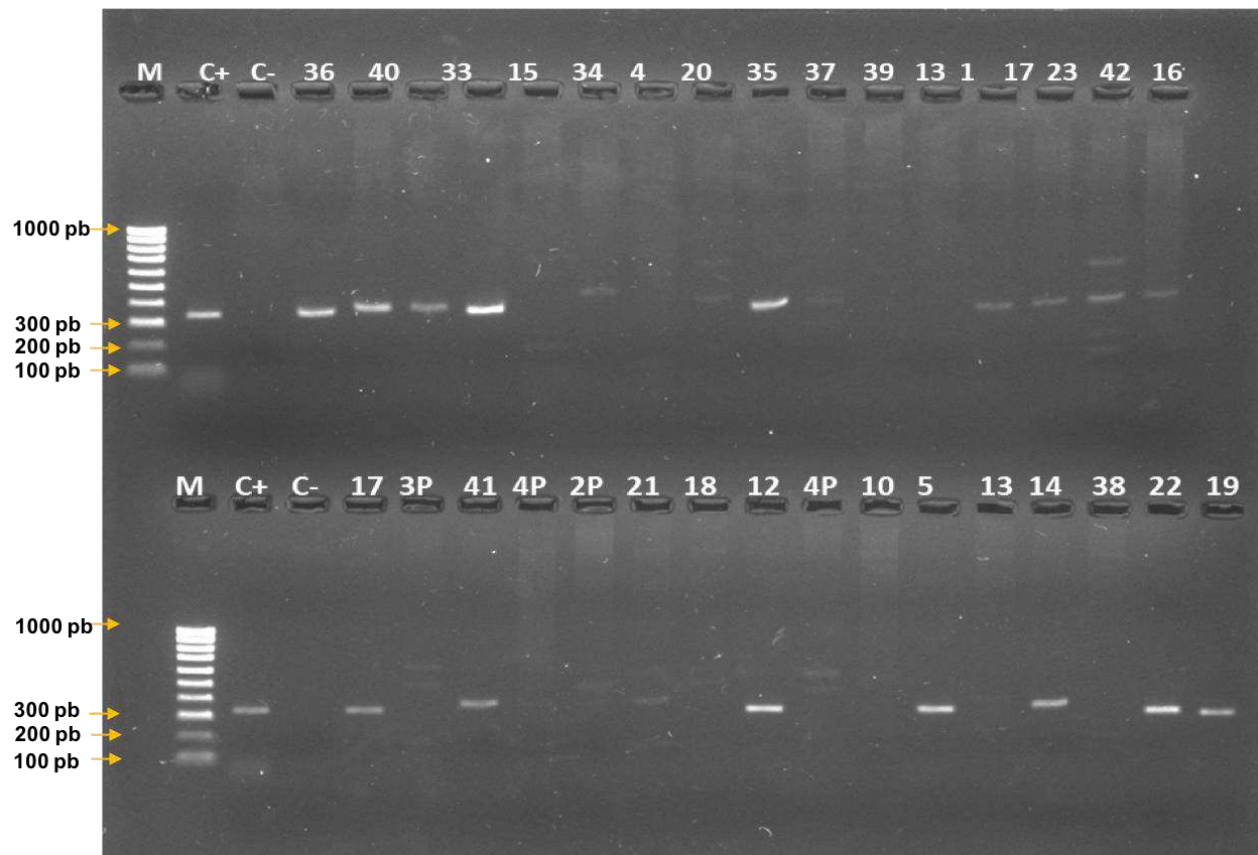


Figura 1. Fotografía al microscopio mostrando estructuras compatibles con *Anaplasma marginale*

## Resultados de la PCR

En total 19 muestras resultaron positivas a *A. marginale* mediante la prueba de PCR, éstas fueron consideradas así, cuando amplificaron un fragmento de 345 pb el cual corresponde con la talla indicada para el fragmento del gen MSP5 (Guillemi *et al.*, 2016), de estas 17 corresponden al municipio de Soto la Marina, una al municipio de Abasolo y una a Victoria (Figura 2). Estos resultados utilizando el gen MSP5 son similares a los obtenidos en un estudio llevado a cabo para la detección de *A. marginale* (Corona & Martínez, 2011). En otro estudio utilizando el gen MSP5 se pudo identificar la presencia de *A. marginale* en bisontes mantenidos en la reserva natural el Uno en el estado de Chihuahua, estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de evaluar también el rol que tiene la fauna silvestre en el mantenimiento y ciclo de vida de los patógenos. Esta interacción entre el huésped y el patógeno se ve aumentada sobre todo cuando algunos de los animales que pueden fungir como reservorios del patógeno se encuentran en áreas limítrofes a las que han presentado reportes de infección por *A. marginale*. (Beristain-Ruiz *et al.*, 2021).



M: Marcador de peso molecular, C+: control positivo (345 pb) (36, 40, 33, 15, 34, 20, 35, 37, 17, 23, 42, 16, 41, 21, 12, 5, 14, 22, 19) muestras positivas, C-: control negativo (agua bidestilada).

**Figura 2. Gel de agarosa al 2 % y teñido con Diamond Nucleic Acid Dye**



## Resultados de ELISA

Finalmente, una vez analizada la densidad óptica de las muestras los resultados indicaron que 17 de las 50 muestras recolectadas resultaron con anticuerpos a *A. marginale*, dichas muestras fueron consistentes con los resultados de PCR y obtuvieron densidades que oscilaban de 0.90 a 1.50, cabe mencionar que de estas muestras positivas la totalidad de ellas fueron obtenidas del municipio de Soto la Marina (Figura 3). Al igual que en el presente estudio la identificación de anticuerpos contra *A. marginale* mediante ELISA ha sido utilizada en otras investigaciones con buenos resultados y sobre todo, tiene una alta implicación debido a que forman parte también del estudio epidemiológico de este patógeno en la región norte del continente americano, esto a su vez nos permite conocer las interacciones entre el patógeno y el vector con lo cual se podrían implementar estrategias de control que sean económica y biológicamente factibles para evitar la diseminación de *A. marginale* (Figura 3) (Olafson *et al.*, 2018; Okafor *et al.*, 2019; Sarli *et al.*, 2020).

## CONCLUSIONES

En conclusión, la detección de *A. marginale* mediante PCR resultó con una mayor especificidad y sensibilidad, aunque los resultados son muy similares utilizando la prueba de ELISA, esto podría deberse a que el animal mantiene una infección crónica por este patógeno por lo cual genera anticuerpos, sin embargo, algunas veces la infección es indetectable mediante técnicas convencionales como microscopía. Por lo tanto, el presente estudio presenta información actualizada y de utilidad para el análisis de la interacción entre el huésped y el patógeno puesto que a la fecha no existen estudios epidemiológicos sobre *A. marginale* en la región transfronteriza con Estados Unidos de Norteamérica siendo este el punto de acceso por el que transita la mayor cantidad de ganado bovino con fines de exportación en el país, no obstante es necesario realizar más investigaciones a mayor escala y dirigidos hacia la detección de patógenos transmitidos por garrapatas a fin de establecer programas que ayuden tanto al control de los patógenos como de los vectores.

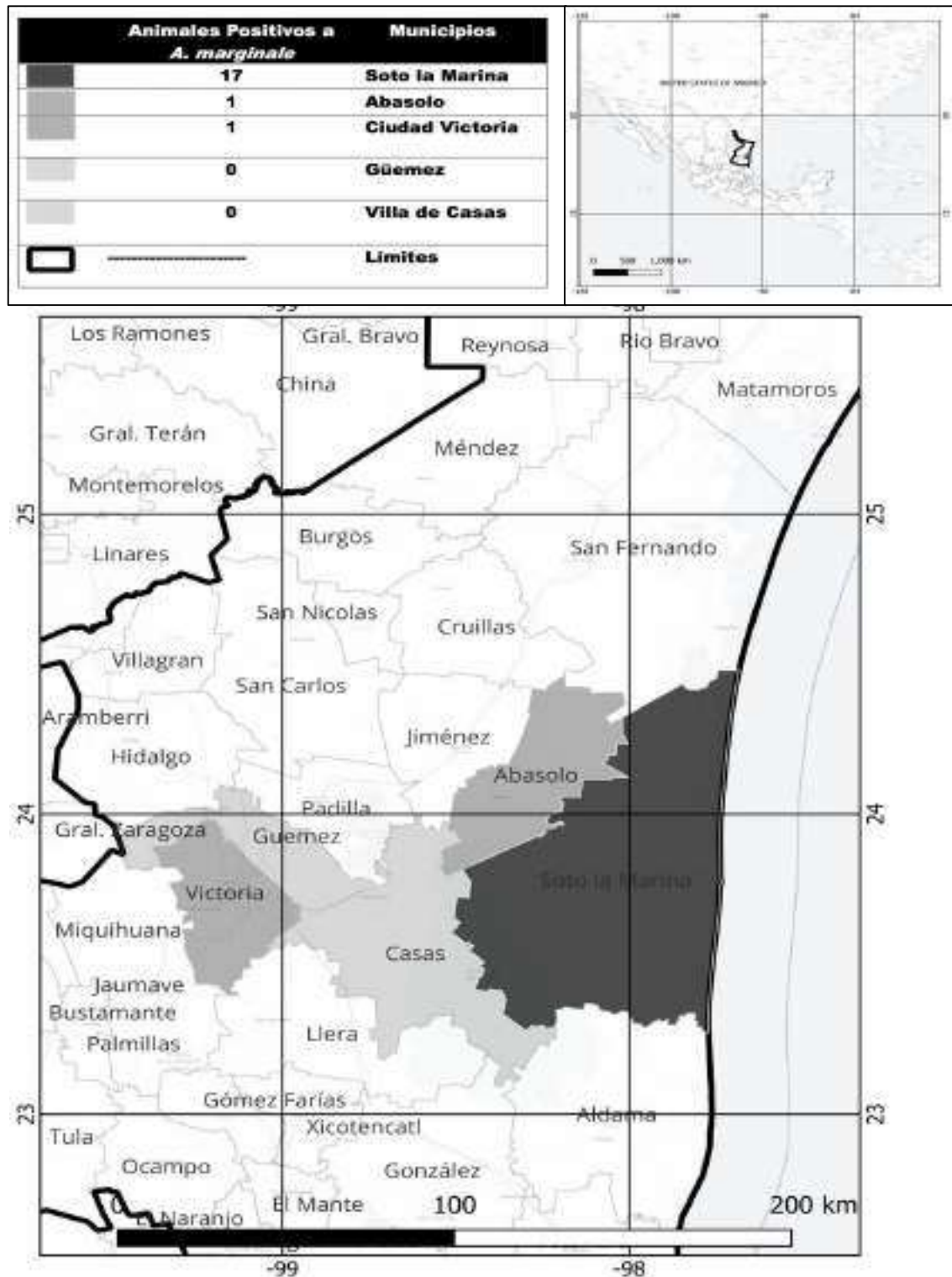


Figura 3. Mapa de animales positivos por municipio de estudio



## LITERATURA CITADA

BERISTAIN-RUIZ D, Vital-García C, Figueroa-Millán JV, Lira-Amaya JJ, Garza-Hernández JA, Sánchez-Ayala JR, Flores-Ceballos S, Rodríguez-Alarcón CA, Olivás-Sánchez MP, Pons-Monarrez G. 2021. Molecular Detection of Tick-Borne Pathogens in American Bison (*Bison bison*) at El Uno Ecological Reserve, Janos, Chihuahua, Mexico. *Pathogens*. 10(11):1-16. <https://doi.org/10.3390/pathogens10111428>

BISEN S, Aftab A, Jeeva K, Silamparasan M, Yadav S, Chandra D, Sankar M, Garg R, Raina OK. 2021. Molecular and serological detection of *Anaplasma* infection in carrier cattle in north India. *Veterinary parasitology*. 24:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2021.100550>

BRAYTON KA. 2012. Transmisión de *Anaplasma marginale* por garrapatas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 3(1):41-50. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242012000500006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000500006)

CABEZAS-CRUZ A, de la Fuente J. 2015. *Anaplasma marginale* major surface protein 1a: a marker of strain diversity with implications for control of bovine anaplasmosis. *Ticks and tick-borne diseases*. 6(3):205-210. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2015.03.007>

CASTAÑEDA-ORTIZ EJ, Ueti MW, Camacho-Nuez M, Mosqueda JJ, Mousel MR, Johnson WC, Palmer GH. 2015. Association of *Anaplasma marginale* strain superinfection with infection prevalence within tropical regions. *PLoS One*. 20(10):1-8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129415>

CORONA B, Martínez S. 2011. Detección de *Anaplasma marginale* en bovinos, mediante la amplificación por PCR del gen MSP5. *Revista de Salud Animal*. 33(1):24-31. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0253-570X2011000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0253-570X2011000100004)

CURTIS AK, Kleinhenz MD, Anantatat T, Martin MS, Magnin GC, Coetzee JF, Reif KE. 2021. Failure to eliminate persistent *Anaplasma marginale* infection from cattle using labeled doses of chlortetracycline and oxytetracycline antimicrobials. *Veterinary Sciences*. 8(11):1-13. <https://doi.org/10.3390/vetsci8110283>

DANTAN-GONZALEZ E, Quiroz-Castañeda RE, Aguilar-Díaz H, Amaro-Estrada I, Martínez-Ocampo F, Rodríguez-Camarillo S. 2022. Mexican Strains of *Anaplasma marginale*: a first comparative genomics and phylogeographic analysis. *Pathogens*. 11(8):1-15. <https://doi.org/10.3390/pathogens11080873>



ELEFTHERIOU A, Cole D, Kieffer J, Pesapane R. 2022. Molecular prevalence of *Anaplasma marginale* and associated risk factors in beef cattle herds from Ohio: a cross-sectional study. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1(56). <https://doi.org/10.2460/javma.22.05.0204>

FERREIRA G, Canozzi M, Peripolli V, Moura G, Sanchez J, Martins C. 2022. Prevalence of bovine *Babesia spp.*, *Anaplasma marginale*, and their co-infections in Latin America: Systematic review-meta-analysis. *Ticks and tick-borne diseases*. 13(4). <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.101967>

GHOSH P, Saleh M, Sundstrom K, Lentile M, Little S. 2021. Ixodes spp. from Dogs and Cats in the United States: Diversity, Seasonality, and Prevalence of *Borrelia burgdorferi* and *Anaplasma phagocytophilum*. *Vector borne and zoonotic diseases*. 21(1):11-19. <https://doi.org/10.1089/vbz.2020.2637>

GUILLEMI E, De la fourniere S, Orozco M, Peña J, Correa J, Lopez L, Paoletta M, Corona B, Pinarello V, Wilkowsky S, Farber M. 2016. Molecular identification of *Anaplasma marginale* in two autochthonous South American wild species revealed an identical new genotype and its phylogenetic relationship with those of bovines. *Parasites & Vectors*. 9(305):1-9. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1555-9>

KAMANI J, Irene S, Qasim A, Olubade T, Abasiama M, Gajibo A, Balami P, Shands M, Harrus S. 2022. Nucleotide sequence types (ntSTs) of *Anaplasma marginale* in cattle in Nigeria based on the major surface protein 5 (msp5) gene. *Acta Tropica*. 233. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106544>

LIRA-AMAYA J, Santamaria R, Castañeda R, Martínez G, Polanco D, Rojas C, Alvarez J, Figueroa J. 2022. Molecular Identification of *Babesia spp.* and *Anaplasma marginale* in Water Buffaloes in Veracruz and Tabasco, Mexico: A Retrospective Study. *Microorganisms*. 10(9):1-10. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091702>

NOAMAN V, Shayan P. 2010. Comparison of Microscopy and PCR-RFLP for detection of *Anaplasma marginale* in carrier cattle. *Iranian Journal of Microbiology*. 2(2):89-94. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3279773/>

OGATA S, Pereira J, Johnny L, Carolina H, Matsuno K, Orba Y, Sawa H, Kawamori F, Nonaka N, Nakao R. 2021. Molecular survey of *Babesia* and *Anaplasma* infection in cattle in Bolivia. *Veterinary Sciences*. 8(9):1-12. <https://doi.org/10.3390/vetsci8090188>



OKAFOR C, Collins S, Daniel J, Coetzee J, Whitlock B. 2019. Seroprevalence of bovine Anaplasmosis in Georgia. *Veterinary parasitology*. 15: e100258.

<https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2018.100258>

OLAFSON P, Thomas D, May M, Buckmeier B, Duhaime R. 2018. Tick vector and disease pathogen surveillance of nilgai antelope (*Boselaphus tragocamelus*) in southeastern Texas, USA. *Journal of wildlife diseases*. 54(4):734-744.

<https://doi.org/10.7589/2017-09-239>

PRADEEP R, Nimisha M, Sruthi M, Vidya P, Amrutha B, Kurbet P, Kumar K, Varghese A, Deepa C, Dinesh C, Chandrasekhar L, Juliet S, Pradeepkumar P, Ravishankar C, Ghosh S, Ravindran R. 2019. Molecular characterization of South Indian field isolates of bovine *Babesia* spp. and *Anaplasma* spp. *Parasitology Research*. 118(2):617-630.

<https://doi.org/10.1007/s00436-018-6172-4>

QUIROZ-CASTAÑEDA R, Amaro-Estrada I, Rodríguez-Camarillo S. 2016. *Anaplasma marginale*: diversity, virulence, and vaccine landscape through a genomics approach. *BioMed Research International*. 2016:1-18.

<https://doi.org/10.1155/2016/9032085>

REZENDE-ARAUJO T, Leite Mota Júnior M, Sampaio Vilela T, Bittecourt A, Azevedo Santos H, Fampa P. 2021. First report of the presence of *Anaplasma marginale* in different tissues of the stable-fly *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus, 1758) in Rio de Janeiro state, Brazil. *Veterinary parasitology*. 23: e100515.

<https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100515>

RODRIGUEZ-CAMARILLO S, Quiroz-Castañeda R, Aguilar-Díaz H, Vara-Pastrana J, Pescador-Pérez D, Amaro-Estrada I, Martínez-Ocampo F. 2020. Immunoinformatic Analysis to Identify Proteins to Be Used as Potential Targets to Control Bovine Anaplasmosis. *International Journal of Microbiology*. 27:1-8.

<https://doi.org/10.1155/2020/8882031>

SARLI M, Thompson C, Novoa M, Valentini B, Mastropaolo M, Echaide I, de Echaide S, Primo M. 2020. Development and evaluation of a double-antigen sandwich ELISA to identify *Anaplasma marginale*-infected and *A. centrale*-vaccinated cattle. *Journal of veterinary diagnostic investigation: official publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians*. 32(1):70-76.

<https://doi.org/10.1177/1040638719892953>



SILAGHI C, Santos A, Gomes J, Christova I, Matei I, Walder G, Domingos A, Bell-Sakyi L, Sprong H, von Loewenich F, Oteo J, de la Fuente J, Dumler J. 2017. Guidelines for the direct detection of *Anaplasma spp.* in diagnosis and epidemiological studies vector borne and zoonotic diseases. *Vector borne and zoonotic diseases*. 17(1):12-22. <https://doi.org/10.1089/vbz.2016.1960>

WATTHANADIREK A, Junsiri W, Minsakorn S, Poolsawat N, Srionrod N, Khumpim P, Chawengkirttikul R, Anuracpreeda P. 2021. Molecular and recombinant characterization of major surface protein 5 from *Anaplasma marginale*. *Acta tropica*. 220. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.105933>

ZABEL T, Agosto F. 2018. Transmission dynamics of bovine anaplasmosis in a cattle herd. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*. 1:1-18. <https://doi.org/10.1155/2018/4373981>

ZEB J, Shams S, Din I, Ayaz S, Khan A, Nasreen N, Khan H, Khan M, Senbill, H. 2020. Molecular epidemiology and associated risk factors of *Anaplasma marginale* and *Theileria annulata* in cattle from North-western Pakistan. *Veterinary Parasitology*. 279:e109044. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109044>

#### [Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-12. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.19>  
Estudio de Caso. Recibido: 11/03/2024. Aceptado:21/09/2024. Publicado: 09/12/2024. Clave: e2024-20.  
<https://www.youtube.com/watch?v=DGTIW6kWoYw>

## Primer reporte de crustáceo decápodo *Procambarus llamas* en la región de la montaña de Xmaben Hopelchén, Campeche

First report of decapod crustacean *Procambarus llamas* in the mountain region of Xmaben Hopelchén, Campeche



Jaime Bautista-Ortega<sup>1ID</sup>, Zulema Huicab-Pech<sup>\*2 ID</sup>, Alberto Santillán-Fernández<sup>1ID</sup>,  
Juan Cuevas-Bernardino<sup>3ID</sup>, Neith Pacheco-López<sup>3ID</sup>, Wadi Sosa-González<sup>1,4ID</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, CP. 24450, Carretera Federal Haltunchen-Edzna Campeche, km. 17.5. México. <sup>2</sup>Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT, Programa Posdoctorales. México. <sup>3</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. CIATEJ. Subsede SURESTE. México. <sup>4</sup>Instituto Tecnológico Superior de Champotón, Ingeniería electromecánica. México. \*Autor de correspondencia: Zulema Huicab-Pech. Programa Posdoctorales. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT y Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. CIATEJ. E-mail: jbautista@colpos.mx, pechzulema@gmail.com, santillan.alberto@colpos.mx, jcuevas@ciatej.mx, npacheco@ciatej.mx, wadi.sg@champon.tecnm.mx

### RESUMEN

La diversidad de acociles está constituida por 29 géneros y 634 especies que se incluyen en tres familias: Astacidae, Parastacidae y Cambaridae. En 2002 fue reportado en localidades de los municipios de Escárcega, Seybaplaya y Champotón, Campeche, sin embargo, la distribución de la especie a través del tiempo ha sido notable, debido al desplazamiento en busca de nuevas zonas reproducción, efectos del cambio climático y actividades antropogénicas. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la distribución actual de acocil *Procambarus* sp en cuencas del estado de Campeche. Los organismos fueron colectados en la localidad de Xmaben, Hopelchén, Campeche a 19°16'22.8" de latitud Norte y 89°16'08.4" de longitud Oeste. Como resultados de obtiene el hallazgo de una nueva especie en la región de la montaña ubicada en la parte norte del estado de Campeche, denominada la ruta de Los Chenes; así como la identificación taxonómica de la especie *Procambarus llamas* (Decapoda: Cambaridae), a través de este hallazgo se extiende su área de distribución geográfica y se incorpora como una especie para las cuencas hidrográficas del estado de Campeche.

**Palabras clave:** diversidad, distribución geográfica, identificación taxonómica.

### ABSTRACT

The diversity of acociles is made up of 29 genera and 634 species that are included in three families: Astacidae, Parastacidae and Cambaridae. In 2002 it was reported in localities of the municipalities of Escárcega, Seybaplaya and Champotón, Campeche, however, the distribution of the species over time has been remarkable, due to displacement in search of new breeding areas, effects of climate change and anthropogenic activities. Therefore, the objective of this study was to determine the current distribution of *Procambarus* sp in basins of the state of Campeche. The organisms were collected in the locality of Xmaben, Hopelchén, Campeche at 19°16'22.8" North latitude and 89°16'08.4" West longitude. As a result, a new species was found in the mountain region located in the northern part of the state of Campeche,



called the Los Chenes route; as well as the taxonomic identification of the species *Procambarus llamasii* (Decapoda: Cambaridae), through this finding its geographical distribution area is extended and it is incorporated as a species for the watersheds of the state of Campeche.

**Keywords:** diversity, geographic distribution, taxonomic identification.

## INTRODUCCIÓN

México presenta una gran diversidad de climas y paisajes geográficos, con ambientes. En América Latina se describen taxonómicamente alrededor de 406 especies que se distribuyen en la zona sureste de los E.U y la vertiente del Golfo de México y Cuba (Franco-Sustaita, 2014). Con respecto a la fauna de crustáceos decápodos en general, México cuenta con 1, 597 especies marinas y 178 especies de agua dulce.

Por su parte, el país presenta una gran diversidad de climas y paisajes geográficos, con ambientes diversos y un alto porcentaje de especies endémicas acuáticas con potencial acuícola. Entre estos organismos destacan los crustáceos, que se ubican dentro de los artrópodos, los cuales se caracterizan por conformarse por un cuerpo segmentado dividido por cabeza, cefalotórax, abdomen (García *et al.*, 2012).

Existe una diversidad de crustáceos, como en el caso del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii*, considerado por su cultivo comercial y amplio mercado como una de las especies de alto valor económico en el mercado nacional e internacional (Domínguez, 2019), sin embargo, es importante generar investigaciones para el rescate de especies nativas adaptadas a condiciones ambientales y con potencial para la actividad acuícola, como es el caso de *Procambarus sp.*

Entre los crustáceos nativos existen tres familias: Astacidae, Parastacidae y Cambaridae, que se constituyen por 29 géneros entre los que destacan *Procambarus*, *Cambarellus* y *Orconectes*, y 634 especies de las cuales solo 54 son consideradas especies nativas. (Villalobos-Figueroa, 1955).

*Procambarus* habita en ríos, zonas de inundación estacional y zanjas. Se localiza al norte de Australia, Nueva Guinea, Madagascar, Cuba y México (Taylor, 2002). Es una especie endémica de la península de Yucatán (Villalobos, 1954; Rodríguez-Serna, 1999), y forma parte de los ecosistemas naturales, sin embargo su distribución a través del tiempo ha sido afectada por alteraciones de su hábitat como resultado de la actividad antropogénica por agricultura, ganadería y explotación de áreas forestales inundables, con impacto en su desplazamiento, pérdida de su hábitat y, finalmente su ubicación actual. *Procambarus sp* es una especie con alto valor ecológico y nutritivo, sin embargo, su desaparición parcial o definitiva en los sistemas acuáticos es perceptible (Carmona-Osalde *et al.*, 2005). Una de las estrategias para mitigar los efectos del hombre y el ambiente, es la generación de investigaciones para el monitoreo e identificación de especies presentes en zona de Campeche y, su posible cultivo en sistemas acuícolas. Por lo anterior, el presente trabajo reporta por primera vez la presencia del acocil *Procambarus llamasii* en

la región de la montaña ubicada en la localidad de Xmaben, Hopelchén, al norte del estado de Campeche, extendiéndose de esta manera su área de distribución en la Península de Yucatán.

### MATERIAL Y METODOS

Se seleccionaron los sitios de la cuenca hidrológica de la localidad de Xmaben, Hopelchén. El sitio de muestreo se ubicó en la posición  $19^{\circ}16'22.8''$  de latitud Norte y  $89^{\circ}16'08.4''$  de longitud Oeste.

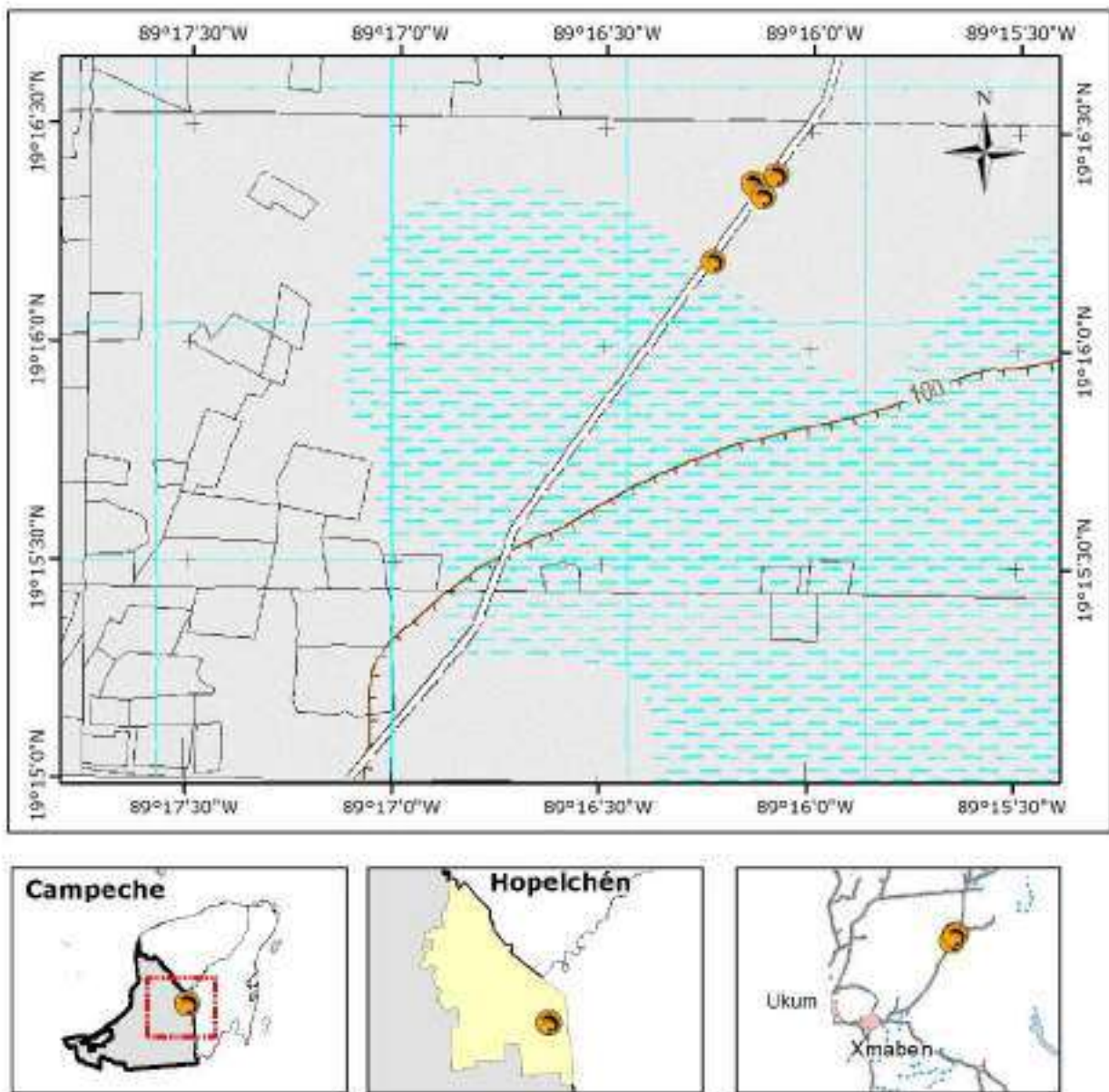


Figura 1. Puntos de muestreo en la cuenca hidrológica de la comunidad de Xmaben, Hopelchén, Campeche



La recolección se realizó con apoyo de trampas y red atarraya. Los organismos se conservaron en alcohol etílico al 70% para su traslado al Laboratorio de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Campeche y, finalmente, para su posterior identificación en el Laboratorio de Bioespeleología y Carcinología del plantel Cozumel de la Universidad de Quintana Roo. Se realizó la identificación taxonómica de los organismos colectados de los diferentes puntos de muestreo utilizando cinco hembras y cinco machos entre juveniles y adultos de *Procambarus sp.* La identificación de la especie se realizó mediante claves taxonómicas de acuerdo con [López-Mejía et al. \(2004\)](#), considerando el siguiente proceso de identificación:

<b>1</b>	Primer pleópodo del macho bien desarrollado sirviendo como órgano de transferencia de esperma; podobranquia del segundo y tercer maxilípodo bilobulada; epipoditos del primer maxilípodo por fuera de los filamentos branquiales; coxopodito delgado apicalmente; telson usualmente dividido por una sutura transversal.
----------	--

**Superfamilia Astacoidea / 2**

<b>2 (1)</b>	Primer par de pleópodos con una porción distal; un canal espermático cefalomesialmente doblado con el conducto espermático abierto sobre uno de los dos o más elementos terminales; macho con espinas, una o más sobre el segundo, tercer y cuarto par de pereiópodos; hembras con annulus ventralis.
--------------	---

**Familia Cambaridae / 3**



<b>3 (2)</b>	Fórmula branquial 17 + ep; machos con espinas sobre los isquiopoditos del tercero, cuarto, o tercero y cuarto par de pereiópodos; annulus ventralis fijo o movable.
--------------	---

**Subfamilia Cambarinae / 4**

<b>4</b>	Primer pleópodo del macho terminando en más de dos elementos; proyección central del primer pleópodo rara vez en forma de navaja
----------	--

***Procambarus* / 5**

<b>5</b>	Ganchos sobre los isquiopoditos del tercero o tercero y cuarto par de pereiópodos / 7
----------	---



7 (5`)	Ganchos solamente sobre los isquiopoditos del tercer par de pereiópodos /8
8`	El primer pleópodo alcanza la coxa del tercer par de pereiópodos; el coxopodito del cuarto pereiópododo con una protuberancia caudomesial en la parte exterior /9
9`	El proceso cefálico del primer pleópodo nunca en forma de placa /10
10`	El proceso cefálico rudimentario o ausente; la superficie dorsal de la palma de la quela con bastantes tubérculos escamosos.
<i>Procambarus</i> (Astrocambarus)	
11`	Quelas total o parcialmente pubescentes; más de una espina branquiostegal; más de una espina a cada lado del caparazón; rostro con espinas laterales, proceso mesial más bien reducido, apenas sobresaliendo de la región apical, casi siempre dirigido latero distalmente/12
12 (1`)	Quelas parcialmente pubescentes/13
13 (12`)	Cerdas presentes sólo en la región dactilar de la quela, porción palmar provista de abundantes tubérculos subescuamiformes en la región dorsal; proceso mesial recto, plano, redondeado distalmente, dirigido distalmente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la región norte del estado de Campeche, se ubica el municipio de Hopelchén ([Santillán-Fernández et al., 2022](#); Figura 1). Hopelchén se destaca por su alta producción de maíz a base de variedades mejoradas y criollas con una producción de 166, 017 t y un rendimiento promedio 3.1516 t ha<sup>-1</sup> ([Santillán-Fernández et al., 2022](#)). Cabe señalar, que la red hidrológica en la temporada de lluvias provoca el arrastre de agua y organismos acuáticos como peces, crustáceos y caracoles en los drenes comúnmente utilizados para el desarrollo de la actividad agrícola de la región.

*Procambarus sp.*, se colectó en drenes agrícolas de la comunidad de Xmaben. Es importante destacar que dicho espacio es el ambiente común de la especie, a pesar de la posible presencia de contaminantes agrícolas que se emplean en cultivos aledaños en los puntos de muestreo. En este sentido, *P. llamasi* se comporta similar a *Procambarus clarkii* que muestra patrones de dispersión en agua dulce y salobre, tolerando ambientes contaminados con microplásticos, cianotóxicas y compuestos orgánicos, tal y como lo indican [D'orr et al. \(2020\)](#); [Tricarico et al. \(2008\)](#); [Faria et al. \(2010\)](#); [Goretti et al. \(2016\)](#) y [Mistri et al. \(2020\)](#), y resistentes a condiciones contaminantes con metales pesados según [Alcorlo & Baltanás \(2013\)](#).

Mediante la determinación taxonómica se logró identificar a *Procambarus llamasii*, especie colectada en la región de la Montaña, considerado como una zona de alta prioridad para la conservación y área de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC) y del Corredor Biológico Mesoamericano-México (CBM) (Porter-Bolland *et al.*, 2008). *Procambarus llamasii* es un macroinvertebrado que habita en áreas templadas y tropicales, capaces de mantener el equilibrio de la cadena alimentaria a través de la degradación de materia orgánica en sistemas ecológicos según Álvarez *et al.* (2014) y Yazicioglu *et al.* (2016).



**Figura 2. Ganchos en el isquio del tercer y cuarto par de pereiópodos de un macho adulto de *P. llamasii* adulto forma I , utilizados para sujetarse de la hembra al copular**



*P. llamas* es un alimento importante en la comunidad de la montaña, especialmente durante la época de lluvias. Los pobladores lo consideran una fuente de proteína con un sabor característico y especial, por lo que podría aprovecharse como una alternativa de producción acuícola, como lo manifiestan [Hobbs et al. \(1989\)](#) y [Gherardi et al. \(2000\)](#) con la especie de *Procambarus clarkii* en España e Italia y [Oficialdegui et al. \(2020\)](#) quienes indican que la especie *P. clarkii* representa la mayor parte de la producción de acocil a nivel mundial, principalmente por países asiáticos donde se produce cerca de 2,09 t anuales por acuicultura. *P. clarkii* se destaca como una especie popular por su deliciosa carne de acuerdo con [Oficialdegui et al. \(2020\)](#).

*Procambarus* tiene la facultad de perforar túneles bajo la tierra húmeda y encontrarse cerca de piedras, con nula o poca vegetación, pero en contacto con el agua y presentando hábitos bentónicos nocturnos, asimismo es un hospedero intermediario o definitivo para especies de bacterias, algas, protozoarios, hongos y pequeños crustáceos.

[Torres et al. \(2013\)](#) enfatizan que *P. llamas*, de acuerdo a su variación genética, es una sola especie ampliamente distribuida en la península de Yucatán, y que a nivel morfológico presenta los siguientes caracteres como: caparazón con dos espinas laterales y tres espinas branquiostegales en cada lado, rostro ancho en su base con espinas laterales y una espina acuminal larga y puntiaguda, el primer par de pleópodos en el macho forma la letra I con el proceso mesial aplanado en sentido cefalocaudal, tal y como se muestra a nivel taxonómico en el presente trabajo (Ver Figura 2 y 3).

En la figura 2 se observa la abertura entre el 4° y 5° par de apéndices torácicos conocido como: *annulus ventralis* que es de contorno romboidal en su base, con depresiones en las caras anterolaterales su parte media esta hendida por el surco, el cual se dirige oblicuamente hacia la región apical; ahí forma una figura en S, inclinada de derecha a izquierda; a veces esta S puede estar invertida.

Por su parte, [Armendáriz \(2011\)](#) describe cerca de 682 especies de acocil a nivel mundial, distribuidas en el hemisferio norte. La distribución y biología de la especie aún es incipiente y escasa, a pesar de que existen trabajos dirigidos a su distribución, taxonomía, fisiología y ecología tal y como lo demuestran [Barba-Macías et al. \(2015\)](#) y [Rodríguez-Serna et al. \(2002\)](#).

En el estado de Tabasco, se registran dos especies de acociles (Cambáridos) *P. llamas* y *P. acanthophorus*, según los estudios realizados por [Álvarez et al. \(2005\)](#) y [Barba et al. \(2010\)](#). Por su parte, en la península de Yucatán se registran dos especies de astácidos del género *Procambaridos*, denominados como *Procambarus pilosimanus* ([Villalobos, 1955](#)) y *Procambarus llamas* ([Villalobos, 1955](#)), este último distribuido especialmente en la zona sur del estado de Campeche, mientras el primero solo ha sido registrado en el estado de Quintana Roo.



**Figura 3. Vista en estereoscopio electrónico de hembra de *P. llamasii* adulta**

A partir de los resultados del presente estudio se actualiza la información sobre la distribución del acocil al norte del estado de Campeche, así como su contribución como fuente de alimento a pobladores durante las épocas de lluvias y su posible utilización como alternativa de producción acuícola y especie importante para investigación en términos productivos, reproductivos y tecnológicos, como actualmente realiza el Colegio de Postgraduados Campus Campeche y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ).

### **CONCLUSIONES**

Por lo anterior, se propone incluir a *Procambarus llamasii* como una nueva especie en la zona de la montaña del estado de Campeche y ampliar su área de distribución geográfica a lo largo de las cuencas hidrográficas del estado de Campeche.

### **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestro agradecimiento a los proyectos CONV-RGAA-2022-34 y CONV-RGAA-2023-34 otorgado por el Colegio de Postgraduados y al Dr. Luis Manuel Mejía Ortiz por su experiencia profesional y académica para la identificación de la especie. Al



C. José Manuel Alcocer Espinosa, C. Mariano Jair Silvan Chablé, C. Lumina S. Vázquez Rodríguez y C. Renata M. Pérez Huicab por su apoyo logístico en la colecta.

### LITERATURA CITADA

ALCORLO P, Baltanás A. 2013. The trophic ecology of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in Mediterranean aquatic ecosystems: a stable isotope study. *Limnetica*. 32(1): 0121-138. <https://doi.org/10.23818/limn.32.12>

ÁLVAREZ F, Villalobos Hiriart JL, Robles R. 2005. Crustáceos. En J Bueno, F Álvarez, S Santiago (Eds.). Biodiversidad del estado de Tabasco. México, D.F.: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pp. 177-194. ISBN: 9799709000268.

[https://books.google.com.ec/books?id=105sMZ6e1dIC&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.ec/books?id=105sMZ6e1dIC&source=gbs_navlinks_s)

ÁLVAREZ F, Villalobos JL, Hendrickx ME, Escobar Briones E, Rodríguez Almaraz G, Campos E. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 85:208-219.

<https://doi.org/10.7550/rmb.38758>

ARMENDÁRIZ OG Y. 2011. Patrones de distribución y riqueza de especies de los acociles (Decapoda: Cambaridae) de México. Tesis de maestría. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

<https://repositorio.unam.mx/contenidos/68226>

BARBA E, Juárez Flores J, Estrada Loreto F. 2010. Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81: 153-163. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.0.218>

BARBA MACÍAS E, Carmona Osalde C, Quiñones Rodríguez L, Rodríguez Serna M. 2015. Registros nuevos de cambáridos (Crustacea: Cambaridae: Procambarus) en la cuenca del Grijalva-Usumacinta, Tabasco. *Revista mexicana de biodiversidad*. 86(3): 620-628. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.036>.

CARMONA OSALDE C, Olvera Novoa MA, RodríguezSerna M. 2005. Effect of the protein–lipids ratio on growth and maturation of the crayfish *Procambarus (Austrocambarus) llamasii*. *Aquaculture*. 250(3-4):692-699.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.071>



D'ORR AJM, Scalici M, Caldaroni B, Magara G, Scoparo M, Goretti E, Elia AC. 2020. Salinity tolerance of the invasive red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852). *Hydrobiologia*. 847: 2065–2081. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04231-z>

DOMÍNGUEZ Mora J. 2019. Diseño y evaluación de un modelo de producción de postlarva de langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* (tesis de maestría). Colegio de Postgraduados. México. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4425>

FARIA M, Huertas D, Soto DX, Grimalt JO, Catalan J, Riva MC, Barata C. 2010. Contaminant accumulation and multi-biomarker responses in field collected zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and crayfish (*Procambarus clarkii*), to evaluate toxicological effects of industrial hazardous dumps in the Ebro river (NE Spain). *Chemosphere*. 78 (3): 232-240. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.11.003>

FRANCO SUSTAITA MK. 2014. Morfometría, distribución actual y potencial en el norte de México del acocil rojo *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Crustacea: Cambaridae). Tesis Doctorado. Doctor en ciencias con acentuación en manejo de vida silvestre y desarrollo sustentable. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. <http://eprints.uanl.mx/4081/1/1080253565.pdf>

GARCÍA A, Outerelo R, Ruiz E, Aguirre J, Almodóvar A, Alonso J, Jesús J. 2012. Prácticas de Zoología Estudio y diversidad de los Artrópodos Crustáceos. *Serie Zool*. 5(3):17-27. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/568-2013-12-16-06-Crustaceos.pdf>

GHERARDI F, Barbaresi S, Salvi G. 2000. Spatial and temporal patterns in the movement of *Procambarus clarkii* an invasive crayfish. *Aquatic Science*. 179-193. <https://doi.org/10.1007/PL00001330>

GORETTI E, Pallottini M, Ricciarini MI, Selvaggi R, Cappelletti D. 2016. Heavy metals bioaccumulation in selected tissues of red swamp crayfish: an easy tool for monitoring environmental contamination levels. *Science of The Total Environment*. 559: 339-346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.169>

HOBBS Jr HH. 1989. An Illustrated Checklist of the American Crayfishes (Decapoda, Astacidae, Cambaridae, Parastacidae). Washington, USA : Smithsonian Institute. Pp. 236. <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/516334>



LÓPEZ MEJÍA M, Álvarez F, Mejía Ortiz LM. 2004. A new species of *Procambarus* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) from Veracruz, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 117(1):92-98.

[https://www.researchgate.net/profile/Luis-Mejia-Ortiz/publication/288582482\\_A\\_new\\_species\\_of\\_Procambarus\\_Crustacea\\_Decapoda\\_Cambaridae\\_from\\_Veracruz\\_Mexico/links/5755b55a08aec74acf583271/A-new-species-of-Procambarus-Crustacea-Decapoda-Cambaridae-from-Veracruz-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Mejia-Ortiz/publication/288582482_A_new_species_of_Procambarus_Crustacea_Decapoda_Cambaridae_from_Veracruz_Mexico/links/5755b55a08aec74acf583271/A-new-species-of-Procambarus-Crustacea-Decapoda-Cambaridae-from-Veracruz-Mexico.pdf)

MISTRI M, Munari C, Pagnoni A, Chenet T, Pasti L, Cavazzini, A. 2020. Accumulation of trace metals in crayfish tissues: ¿is *Procambarus clarkii* a vector of pollutants in Po Delta inland waters? *The European Zoological Journal*. 87(1):46–57.

<https://doi.org/10.1080/24750263.2020.1717653>

OFICIALDEGUI FJ, Sánchez MI & Clavero M. 2020. One century away from home: How the red swamp crayfish took over the world. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 30(1):121–135. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09594-z>

PORTER BOLLAND L, Sánchez González MC, Ellis EA. 2008. La conformación del paisaje y el aprovechamiento de los recursos naturales por las comunidades mayas de La Montaña, Hopelchén, Campeche. *Investigaciones geográficas*. (66): 65-80. ISSN 2448-7279; ISSN 0188-4611. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56911123005>.

RODRÍGUEZ SERNA M, Carmona-Osalde C, Arredondo-Figueroa JL, Olvera-Novoa MA. 2002. Distribución geográfica actual de *Procambarus* (Austrocambarus) *llamasi* (Cambaridae) en la Península de Yucatán. *Hidrobiológica*. 12(1):1-5.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972002000100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972002000100001&lng=es&tlng=es)

RODRÍGUEZ SERNA M. 1999. Biología y sistemática de los cambáridos del sudeste de México y su potencial aprovechamiento en la acuicultura. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma Metropolitana, México. Pp. 101.

<http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=2845&docs=UAM2845.PDF>

SANTILLÁN FERNÁNDEZ A, Vargas Díaz AA, Noguera Savelli EJ, Carmona-Arellano MA, Vera López JE, Arreola Enríquez J. 2022. Competitividad de la producción de maíz grano en el estado de Campeche, México. *CIENCIA ergo-sum*. 29(2).

<https://doi.org/10.30878/ces.v29n2a10>



TAYLOR CA. 2002. Taxonomy and Conservation of Native Crayfish Stocks. p. 236-257. In: D.M. Holdich (Ed), Biology of Freshwater Crayfish. New York, Wiley Blackwell. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1572824500377214336>

TORRES E, Álvarez F, Botello A. 2013. Variación genética de *Procambarus llamasi* (Decapoda: Cambaridae) en la península de Yucatán: evidencia de conectividad en un paisaje fragmentado. *Latin american journal of aquatic research*. 41(4):762-772. <https://dx.doi.org/103856/vol41-issue4-fulltext-13>

TRICARICO E, Bertocchi S, Brusconi S, Casalone E, Gherardi F, Giorgi G, Parisi G. 2008. Depuration of microcystin-LR from the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* with assessment of its food quality. *Aquaculture*. 285(1-4):90-95. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.003>

VILLALOBOS A. 1954. Revisión de las especies afines a *Procambarus mexicanus* (Erichson), con descripción de nuevas formas. *Anales del Instituto de Biología*. 25(1-2): 364-371. ISSN 0368-8720. <https://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNCR:492>

VILLALOBOS A. 1955. Cambarinos de la fauna mexicana (Doctoral dissertation, Tesis, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México). México. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000672152>

YAZICIOGLU B, Hamr P, Kozák P, Kouba A, Niksirat H. 2016. Fine structure of the spermatozoon in three species of Cambaridae (Arthropoda: Crustacea: Decapoda) *Cambarus robustus*, *Orconectes propinquus* and *Orconectes rusticus*: a comparative biometrical study. *Peer J*. 4: e2363. <https://doi.org/10.7717/peerj.2363>

#### Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>