

Sociedades rurales, producción y medio ambiente

ISSN 2007-7556



Revista semestral del Departamento de Producción Agrícola
y Animal de la UAM-X



Casa abierta al tiempo

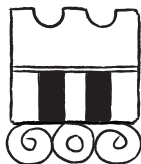
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

46

Julio-Diciembre
2023

Sociedades rurales, producción y medio ambiente

Sociedades rurales, producción y medio ambiente



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia

Secretaria General

Dra. Norma Rondero López

UNIDAD XOCHIMILCO

Rector

Dr. Francisco Javier Soria López

Secretaria

Dra. Ma. Angélica Buendía Espinosa

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Director

Dr. Luis Amado Ayala Pérez

Jefa del Depto. de Producción Agrícola y Animal

M. en S. Nora Rojas Serranía

Director de la revista

Adolfo Álvarez Macías

COMITE EDITORIAL

Ciencias Agrícolas

Dr. Carlos H. Ávila Bello

Centro de Estudios Interdisciplinarios de Agrobiodiversidad (CEIABio)

Universidad Veracruzana

Dr. Rodolfo Figueroa Brito

Centro de Desarrollo de Productos Bióticos

Instituto Politécnico Nacional

Dr. Daniel Ruiz Juárez

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Ciencias Pecuarias

Dr. Carlos Arriaga Jordán

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural

Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. Luis Corona Gochi

Jefe del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Antonio Martínez García

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Calidad e Inocuidad de Productos Agroalimentarios

Dr. Arturo Camilo Escobar Medina

Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (Cuba)

Dr. Eduardo Morales Barrera, UAM-X

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Dra. Silvia D. Peña Betancourt

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Economía y Desarrollo Rural

Dra. Tamara Perelmuter

Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG)

Universidad de Buenos Aires

Acuicultura y Pesca

Dr. Iván Gallego Alarcón

Diseño y formación

D. C. G. Mary Carmen Martínez Santana

Corrección de estilo

D. C. G. Marbella Vianney Olmos Sánchez

SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO

AMBIENTE. Año 2023, número 46, julio-diciembre de 2023 es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, México, Ciudad de México, y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04960, México, Ciudad de México, Tel. 54837231 y 54837230.

Página electrónica de la revista:

<https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma>

Dirección electrónica: aalvarez@correo.xoc.uam.mx

Editor Responsable Profr. Adolfo Guadalupe Álvarez Macías.

Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título

No. 04-2022-092811003900-102, ISSN 2007-7556, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número:

Mary Carmen Martínez Santana.

Fecha de la última modificación: 30 de mayo de 2024.

Tamaño del archivo 2700 KB.

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

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Suscripción anual (2 números)

México: \$220.00

Estados Unidos: \$50.00 USD

Centro América y Sudamérica: \$40.00 USD

Europa: \$60.00 USD

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

Índice

Editorial	9
Política de la revista	13
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
Conservación de la laguna costera de Chautengo, Guerrero: desde una perspectiva paisajística y de prácticas sociales <i>Jaime Matus Parada</i>	15
Acercamiento al estado de la soberanía alimentaria en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur, en el suroeste del estado de Jalisco <i>Peter Rijnaldus Wilhelmus Gerritsen y Marisol Terrones Rojas</i>	45
Respuesta conductual y neurofisiológica al dolor durante la mastitis: eficiencia productiva de rumiantes lecheros, así como su relación con la terapia analgésica, antiinflamatoria y antimicrobiana <i>Daniel Mota Rojas, Marcelo Daniel Ghezzi, Ismael Hernández Ávalos, Adolfo Álvarez Macías, Adriana Domínguez Oliva, Fabio Napolitano, Pamela Anahí Lendez y Agustín Orihuela</i>	71
Beneficios y consecuencias del recorte de pico en la productividad: Aspectos anatómicos, fisiológicos y neurobiología del dolor <i>Daniel Mota Rojas, Agustín Orihuela, Ismael Hernández Ávalos, Adriana Domínguez Oliva, Alejandro Casas Alvarado, Pamela Anahí Lendez y Marcelo Daniel Ghezzi</i>	99

Los efectos del resveratrol como antioxidante, antiinflamatorio y antienvjecimiento en los peces	
<i>Román Espinosa Cervantes, Yolanda Margarita Sánchez Castilleja, David Antonio Santos Ambrosio y Luis Eduardo Melgarejo Arango</i>	119
Producción y comercio de la carne en el mundo y en México	
<i>Katia Paola González Hernández, Omar Francisco Prado Rebolledo y Arturo César García Casillas</i>	135
Características y perspectivas del sistema productivo de lácteos en México: un análisis coyuntural	
<i>Adolfo Guadalupe Álvarez Macías, José Alfredo Cesín Vargas, Víctor Manuel Santos Chávez y Robert Williams Cárcamo Mallen</i>	157
Guía de autores	173

Editorial

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* se mantiene bajo la perspectiva de captar parte de los avances científicos, así como los eventos que están caracterizando los nuevos desafíos del medio rural y del sistema agroalimentario en México y en otras latitudes, por lo cual se vienen abordando temas tan variados como los vinculados a los recursos genéticos, el medio ambiente, la fauna silvestre, el bienestar animal, tecnologías agrícolas y pecuarias, así mismo los relacionados con el mercadeo, inocuidad y alimentación humana, entre otros.

Bajo esa óptica la revista ha mantenido su ritmo de aparición regular desde el año 2000, confirmando con este número la convicción institucional de preservar su vigencia, gracias al respaldo del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. La publicación sigue un proceso de mejora continua de sus procesos editoriales, así como de economía, conforme a los tiempos de austeridad que vive nuestra Universidad y la economía nacional en su conjunto, por lo cual se mantiene exclusivamente bajo formato digital. En los últimos volúmenes se ha mantenido el número de colaboraciones, lo que suele propiciar algunos retrasos en la aparición puntual de la revista, pero ha sido posible mantener la comunicación con un mayor número de autores y revisores y, en especial, ha implicado un acercamiento a los estándares de calidad que exigen los índices de revistas.

Por lo anterior, se tiene una alta valoración de las aportaciones de autores, árbitros y editoras, que han resultado fundamentales en el proceso de permanencia y mejora de la revista. En este contexto, sigue abierta la convocatoria para que investigadores y estudiosos de diversas instituciones nacionales y del extranjero, y desde las diferentes disciplinas relacionadas al desarrollo de las sociedades rurales, producción agrícola, pecuaria, forestal y pesquera, así como del medio ambiente, propongan aportaciones derivadas de sus investigaciones que coadyuven a atender y entender problemas tan relevantes como la pobreza rural, la inseguridad alimentaria, los bajos índices de productividad vegetal y animal, el deterioro de los recursos naturales y el medio ambiente, así como del bienestar animal, los que han desembocado en el desarrollo desigual y en variados obstáculos para un desarrollo agropecuario, agroalimentario y rural sostenible, equitativo y competitivo.

Por el contrario, existen opciones de abonar a las fortalezas y oportunidades que derivan del actual modelo de desarrollo, como las producciones y los mercados orgánicos, las tecnologías agroecológicas, prácticas de conservación y restauración de los recursos naturales y fauna silvestre, economía del hogar y participación de la mujer en las actividades rurales, procesos asociativos innovadores y los nuevos hábitos de consumo, por mencionar algunos de los más relevantes. En este número se presentan siete contribuciones que revelan el carácter multidisciplinario de la publicación. En el primer artículo se examina el paisaje costero de Chautengo, estado de Guerrero, el cual ha sufrido históricos procesos de cambio que derivan en una situación de alto riesgo lo cual que ha afectado su dinámica ecológica y el bienestar de la población circundante. Para ello, se analizan los procesos de cambio paisajístico, las fuerzas impulsoras locales que los explican y se reflexiona sobre el tipo de prácticas sociales que podrían revertir esta crisis costera. En cuestión de método se procedió a: el análisis de imágenes de satélite, muestreos ecológicos de campo y técnicas para recabar testimonios de los pobladores respecto a los cambios observados en el período de 1981 a 2020. Se concluye sobre la relevancia de las prácticas sociales comunitarias en la adaptación del paisaje a las demandas de los entornos costeros actuales.

En el segundo artículo se examina la noción de soberanía alimentaria y se ilustra con un análisis en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur del estado de Jalisco, distinguiendo entre los cultivos alimentarios y no alimentarios. Se coleccionaron datos intra e interregionales y comparándolos en tres momentos: 2003, 2010 y 2019. El resultado indica una dominancia de cultivos no alimentarios en las dos regiones. En el análisis intrarregional se detectó que la mitad de los municipios de cada región tienen baja soberanía alimentaria. Se concluyó sobre la relevancia de redes regionales y municipales en las que se fortalezca la producción de alimentos con capacidad de autoabastecimiento.

En la tercera contribución se analiza la respuesta conductual y neurofisiológica al dolor durante la mastitis: eficiencia productiva de rumiantes lecheros, así como su relación con la terapia analgésica, antiinflamatoria y antimicrobiana. El objetivo consistió en analizar el efecto que el dolor por mastitis provoca en la respuesta conductual y la eficiencia productiva de rumiantes lecheros, así como su relación con la terapia analgésica, desinflamatoria y antimicrobiana. En el cuarto artículo se examinan los beneficios y consecuencias del recorte de pico en la productividad, profundizando en aspectos anatómicos, fisiológicos y neurobiología del dolor. Se trata de un artículo de revisión cuyo objetivo fue describir la anatomía y funcionalidad del pico en aves, así como la neurofisiología del dolor involucrada durante el recorte de pico. Se analizará la evidencia científica relacionada a los beneficios y consecuencias por el uso de esta práctica en las unidades de producción.

En el quinto artículo se estudian los efectos del resveratrol (RES) como antioxidante, antiinflamatorio y antienvjecimiento en los peces. El RES posee propiedades terapéuticas en el cáncer, la neurodegeneración y la aterosclerosis. A partir de la revisión de literatura científica, se asume que el RES es un aditivo nutricional, complemento farmacológico y terapéutico. Por lo tanto, el resveratrol ha sido considerado un potente candidato para el desarrollo de nutraceuticos y productos farmacéuticos

para prevenir y tratar ciertas enfermedades crónicas que en este caso se estudia usando a los peces como modelo animal. En la sexta contribución se propone un análisis de la producción y comercio de la carne en el mundo y en México, reportando cuáles son los principales países productores, importadores y exportadores de diferentes tipos de carnes, la evolución de sus precios y las condicionantes que han sufrido a raíz de eventos tan importantes como el COVID 19 y la invasión rusa a Ucrania.

Finalmente, la séptima contribución se propone un análisis coyuntural para captar la evolución y perspectiva del sistema de lácteos en México. Para ello, se realizó una amplia recopilación y análisis de fuentes bibliográficas y estadísticas, privilegiando las más recientes. Se revisaron las dinámicas de la producción primaria, de la industria de lácteos, del consumo en México y de la relación que se ha establecido con el mercado internacional, dada la relevancia de la importación de productos lácteos. Se concluyó sobre la estructura socioeconómica y tecnológica polarizada en todos los segmentos del SPL y los insuficientes mecanismos de coordinación entre ellos han impedido alcanzar un nivel de eficiencia suficiente en México, que permita depender menos de las importaciones y se oriente a un desarrollo sustentable, competitivo y con equidad.

Por último, se reitera que el proceso de mejora general en que está inmersa la revista se mantendrá para que se logre el reconocimiento necesario que atraiga a nuevos autores y lectores, por tanto, son bienvenidas todas las sugerencias y observaciones que coadyuven en este sentido. A la vez, esta publicación está abierta a todas las propuestas académicas de calidad susceptibles de ser publicadas.

Adolfo Álvarez Macías
Director

Política de la Revista

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* es auspiciada por el Departamento de Producción Agrícola y Animal (DPAA), de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco desde el año 2000, con el fin de difundir conocimientos y métodos de investigación originales en las ciencias biológicas, sociales y económicas que tratan de explicar los problemas y desafíos científicos de diferente índole que confrontan el desarrollo de las sociedades en sus territorios, especialmente en los rurales. Ello, en torno a sus principales medios de vida, sea en la agricultura, ganadería, acuacultura y en la conservación de los recursos naturales y de la fauna silvestre. Todo ello enmarcado en los sistemas alimentarios y desarrollo regional, retomando los nuevos desafíos como la crisis climática, el rezago social y el enfoque de género, entre otros.

En ese marco, la revista está implicada en proponer análisis y discusiones que generen, cada vez más, posibles alternativas de solución para problemas y retos locales, regionales, nacionales y globales. En consecuencia, la revista se orienta hacia la evaluación de la investigación de frontera y el nivel actual de la discusión entre disciplinas relacionadas con las sociedades rurales y sus conexiones con los factores de contexto. Desde esta perspectiva, se pretende que las distintas contribuciones aborden cada temática con rigor científico y con una visión humanista que brinde proyección y sentido a los resultados presentados.

En los últimos meses se han presentado macro eventos que marcan el funcionamiento y el devenir de las sociedades rurales y de los sistemas agroalimentarios. Por un lado, el cambio climático y sus crecientes repercusiones, que está obligando a tomar medidas de mitigación y adaptación de prácticas como el manejo de especies, variedades y razas, como a adoptar prácticas y tecnologías apropiadas que permitan mantener y optimizar los ciclos de producción y circulación de alimentos y materias primas y, además, de restaurar los recursos naturales y la atmósfera. La pandemia del COVID 19 también supuso en sus efectos, el retiro temporal de varios actores del medio rural y agroalimentario, así como la ruptura de múltiples cadenas productivas que implicó algunas cuestiones positivas, como la regeneración de recursos naturales y descenso de agentes contaminantes, pero también otros cambios críticos, como la reducción de los ingresos de amplias capas de la población y el descenso de la producción agrícola y animal, generando un aumento de pobreza, de personas en inseguridad alimentaria, de inflación y la crisis de las finanzas públicas, entre otras consecuencias.

A la par, la invasión rusa a Ucrania ha supuesto otro trastorno global mayor, dado que se trata de dos potencias agrícolas que, ante el conflicto y las sanciones aplicadas a Rusia por parte de la comunidad internacional, ha redundado en la desestabilización del mercado internacional de productos agropecuarios, repercutiendo en el alza de precios internacionales y nacionales de estos productos. El actual conflicto en la Franja de Gaza amenaza de acentuar las perturbaciones en el sistema alimentario mundial. Ante ello, se intensifica la demanda de mayores investigaciones y análisis que consideren en su contexto estas dinámicas y, en su caso, que generen información sustantiva para formular explicaciones y alternativas que contribuyan a la comprensión y respuesta a estos desafíos.

Por otro lado, se reitera que la política de la revista promueve la publicación de trabajos que aporten información inédita y original bajo las siguientes cuatro modalidades: i) Artículos de investigación, ii) Artículos de revisión y Notas de investigación, iii) Ensayos, y iv) Reseñas. La revista prosigue con su publicación periódica en su aparición semestral, gracias a la colaboración tanto de autores como de revisores y cuerpo editorial. También se ha continuado con la mejora progresiva de los mecanismos de evaluación de los manuscritos que se presentan y se han acortado los períodos de respuesta a los autores, lo que permite a la revista responder, cada vez más, a los requerimientos de una publicación de calidad susceptible de ingresar a los índices de revistas más relevantes del país. Para ello, ha sido apreciable el impulso que mantiene el DPAA, que está comprometido en la divulgación de resultados de investigaciones de cuerpo de académicos, como lo mandata la Ley Orgánica universitaria.

Asociado a lo anterior, es importante la participación de todos los investigadores que consideren a la revista como un canal de divulgación pertinente para los resultados de sus investigaciones. Prueba de lo anterior es que la revista ha rebasado los 20 años de aparición regular. Así, la publicación se mantiene como un campo abierto, crítico y constructivo que busca enriquecer las explicaciones científicas e interpretaciones que coadyuven al desarrollo rural, agropecuario, alimentario y regional, teniendo como principios rectores: la equidad, la sostenibilidad y la competitividad.

Aparte de las contribuciones individuales, también se viene fomentando la edición de números temáticos, desarrollados por grupos formales e informales de investigación, para el abordaje de objetos de estudio comunes bajo distintas visiones analíticas, métodos de trabajo, e incluso disciplinas. Para los interesados en esta última opción se les invita a contactar a la dirección de la revista para coordinar de la mejor manera posible alternativas de este tipo.

Para más información sobre la publicación, favor de dirigirse a:

Adolfo Álvarez Macías, Director de la revista.

Edificio 34, tercer piso.

Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.

Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, Ciudad de México.

Tels. 555483-7230 y 7231.

e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx

Conservación de la laguna costera de Chautengo, Guerrero: desde una perspectiva paisajística y de prácticas sociales

Jaime Matus Parada¹

Resumen. *Diversos paisajes costeros, como el aquí estudiado, han sufrido históricos procesos de cambio que los colocan en una situación de alto riesgo lo cual que puede repercutir negativamente ecológica y socialmente. Con el fin de contribuir a esta actual y frecuente problemática costera, el presente trabajo analiza los procesos de cambio paisajístico, las fuerzas impulsoras locales que los explican y reflexiona sobre el tipo de prácticas sociales que podrían colaborar en la solución de este tipo de crisis costera. El trabajo metodológico articuló distintas herramientas: el análisis de imágenes de satélite, entrevistas abiertas, reuniones comunitarias, muestreos ecológicos de campo y guías de observación. Los resultados y la discusión muestran la forma en que las unidades del paisaje costero se han ido transformando en el período que va de 1981 a 2020. Las principales fuerzas impulsoras locales de cambio se relacionaron con una economía de subsistencia, con una crisis de gobernanza costera, con rasgos culturales de incipiente apego territorial, con un constante crecimiento poblacional y con los efectos, cada vez más acentuados, de eventos climáticos extremos. Se concluye reflexionando sobre el potencial papel de las prácticas sociales comunitarias en la adaptación del paisaje a las demandas de los entornos costeros actuales.*

Palabras clave: *Cambios paisajísticos, Fuerzas impulsoras, Prácticas sociales, Paisaje costero.*

Abstract. *Various coastal landscapes, like the one studied here, have undergone historical processes of change that place them in a high-risk situation, which can have negative ecological and social repercussions. In order to contribute to this current and frequent coastal problem, this work analyzes the processes of landscape*

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento El Hombre y su Ambiente, e-mail: montagno_49@hotmail.com

change, the local driving forces that explain them and reflects on the types of social practices that could collaborate in the solution of this type of coastal crisis. The methodological work articulated different tools: the analysis of satellite images, open interviews, community meetings, ecological field sampling and observation guides. The results and discussion show the way in which coastal landscape units have been transformed over a period from 1981 to 2020. The main local driving forces of change were related to a subsistence economy, a crisis of coastal governance, cultural traits of incipient territorial attachment, constant population growth and with the increasingly accentuated effects of extreme climatic events. It concludes by reflecting on the potential role of community social practices in the adaptation of the landscape to the demands of current coastal environments.

Keywords: *Landscape changes, Driving forces, Social practices, Coastal landscape.*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centra en el problema de conservación de la laguna costera denominada Chautengo, ubicada en el estado de Guerrero, alrededor de la cual se asientan ocho comunidades cuyas acciones de subsistencia han venido simplificando la estructura del paisaje costero y de esta forma han incrementado su vulnerabilidad. Las lagunas costeras son particularmente sensibles a diferentes presiones naturales y antrópicas, en gran parte debido a su ubicación en la interfaz tierra-mar (Lacoste *et al.*, 2023), pero también a las numerosas actividades que albergan, las cuales suelen ser más abundantes y diversificadas que las asentadas en otros entornos naturales (Oyedotun *et al.*, 2018). El cambio en la configuración de los paisajes costeros es una situación que tiende a producir deterioros y es compartida por muchas comunidades que se asientan en los territorios rurales de América Latina y que todavía constituyen el 40 % de la población total de esta región (CEPAL, 2018). Muchas de las comunidades costeras dependen en gran parte del entorno natural para su subsistencia y bienestar (Kongkeaw *et al.*, 2019), tienden a ser de bajos recursos y viven en territorios anteriormente descartados por carecer de interés a la economía mundial, pero que ahora resultan cruciales para mantener el equilibrio ecológico del planeta. Por ello, estudiar lo que sucede con estos espacios tiene una doble importancia porque, por un lado, puede ayudar a mejorar el bienestar de las poblaciones asentadas en ellos y, por otra parte, ofrece la oportunidad de mejorar territorios de relevancia ecológica mundial. Dada la relevancia socioecológica de las lagunas costeras y su creciente amenaza por cambios paisajísticos provocados por causas naturales y antrópicas, esta investigación se propuso tres objetivos: el primero de ellos fue el analizar los cambios en la configuración de un paisaje costero y el impacto de dicho cambio en la laguna costera, el segundo fue el de identificar las principales fuerzas

impulsoras² de cambio en la configuración del paisaje y el tercer objetivo fue el de identificar posibles cambios o reconfiguraciones en las prácticas sociales en los pobladores de las comunidades costeras, esto con el fin de contribuir en la reflexión sobre cómo transitar del paisaje actual a uno con mayores posibilidades de brindar condiciones de conservación al paisaje en general, pero con particular atención a una laguna costera que resulta sustancial para la salud ecológica del lugar y para el bienestar de los pobladores radicados en ese espacio.

Configuración de los paisajes costeros y su incidencia en los ecosistemas

Los paisajes costeros presentan una alta variación en su configuración ya que se encuentran en todas las latitudes, desde las zonas polares regiones hasta los trópicos (Finkl y Makowski, 2021), también son muy variables debido a que han sido intervenidos por el hombre de diferentes formas y en distintas magnitudes de tal forma que estos paisajes varían desde los fuertemente modificados por procesos antropogénicos, pasando por los perturbados medianamente, hasta aquellos que tienen una alta condición natural (Ligorini *et al.*, 2023). Pero dentro de esta gran variación, estos paisajes suelen compartir rasgos básicos, a saber: una diversa geomorfología, con una configuración compleja y una diversidad de componentes especiales (Hayes *et al.*, 2020). También es común que, en muchas áreas costeras, las actividades humanas se estén incrementando en forma acelerada y provoquen alteraciones significativas en las características de la cubierta terrestre costera en diversas escalas espaciales y temporales (Mukhopadhyay *et al.*, 2018). Es importante tener en cuenta que los cambios estructurales de los paisajes no implican forzosamente situaciones de deterioro, pero frecuentemente se asocian con una disminución de procesos ecológicos básicos (Salgado y Ruiz, 2021). En particular, las nuevas configuraciones paisajísticas generadas actualmente están afectando a los ecosistemas acuáticos ubicados en ellas de manera muy diversa, pero en general poco se ha logrado en la comprensión de la influencia de los paisajes sobre los ecosistemas y poblaciones asentadas en ellos. En términos generales, se sabe que las nuevas configuraciones del paisaje llegan a influir en la dinámica del secuestro de carbono (Asplund *et al.*, 2021) en las dinámicas de las aguas superficiales de las lagunas costeras (Li *et al.*, 2019), así como en el incremento de nutrientes inorgánicos vinculados directamente a actividades antropogénicas dentro de la cuenca de un cuerpo de agua, o bien, por la deposición de contaminantes atmosféricos transportados a larga distancia

² La noción *driving forces* ha tenido diferentes interpretaciones en la literatura en español, se eligió la de “fuerzas impulsoras” por considerar que representa de manera más adecuada su papel en los cambios de los paisajes, pues actúan prioritariamente sobre la toma de decisiones en los agentes de cambio, “impulsando” una acción humana.

(Deininger y Frigstad, 2019). Resulta especialmente importante para este trabajo, los hallazgos sobre los cambios antropogénicos de los paisajes costeros sobre los alarmantes incrementos de escorrentía de sedimentos y sobre la deposición de estos en los cuerpos de agua y que llegan a reducir su profundidad en forma significativa, reduciendo de esta forma su tiempo de persistencia (Bortolin *et al.*, 2020).

Fuerzas impulsoras de cambio en las configuraciones de los paisajes costeros

Las fuerzas impulsoras de cambio son las causas subyacentes de la dinámica de los paisajes, condicionan la trayectoria evolutiva de estos, principalmente al influir en la toma de decisiones de los diferentes participantes en un cambio (Asselen *et al.*, 2013), por ejemplo: empresas, usuarios de recursos, propietarios de tierra o campesinos. La importancia de las fuerzas impulsoras para incidir en los procesos de toma de decisiones de actores específicos para dar forma a los paisajes ha sido reconocida desde hace mucho tiempo (Bürgi *et al.*, 2022). Este estudio se centra en fuerzas impulsoras locales que inciden en la toma de decisiones de usuarios directos de recursos naturales que habitan en un paisaje costero. El estudio de estas fuerzas en los paisajes costeros resulta difícil, en principio porque sus efectos son fuertemente determinados por factores específicos de cada lugar (Masselink *et al.*, 2020), y porque los cambios paisajísticos en estos lugares son provocados por múltiples fuerzas impulsoras que incluyen tanto catástrofes naturales como alteraciones antrópicas de distinta escala (Côté *et al.*, 2016). El carácter contextual de los impulsores y sus múltiples tipos hace que su estudio, hoy en día, todavía es insuficiente, además de que sus interrelaciones y efectos acumulativos no se comprende del todo (Lacoste *et al.*, 2023). En forma muy general, las zonas costeras se enfrentan a una presión cada vez mayor por parte del desarrollo socioeconómico y del cambio climático (Sahavacharin *et al.*, 2022). Las presiones sociales se asocian al incremento de las actividades productivas y al crecimiento demográfico, las naturales se han exacerbado por el actual cambio climático que, a corto plazo, afecta la duración y frecuencia de eventos climáticos extremos y, a largo plazo, inducen variación en el nivel del mar (Rizzo y Anfuso, 2020). Así, el efecto combinado de factores naturales transformados y de fuertes presiones humanas es lo que caracteriza y resulta muy propio del Antropoceno (Jackson *et al.*, 2021). Las fuerzas impulsoras de cambio conforman un complejo de dependencias, interacciones y retroalimentaciones que afectan a varias escalas espaciales y temporales (Karimian *et al.*, 2022). Aquí se interpretan los impulsores de cambio, en el sentido propuesto por Bürgi y colaboradores (2022), como precursores del cambio del paisaje para hablar del estudio de las causas de cambio y efectos específicos en el paisaje, algunos de ellos pueden ser visibles en el paisaje como instituciones específicas o pueden no ser visibles como la cultura de una comunidad. Así la noción de fuerzas impulsoras tienden a desencadenar cambios y pueden ser de naturaleza económica, política, cultural o biofísica (Meyfroidt, 2018).

Las prácticas sociales: su posibilidad de reconfigurarlas para promover cambios

No existe acuerdo sobre la forma de conceptualizar a las prácticas sociales, sin embargo, se suele pensar en ellas como constelaciones de actividades cotidianas que forman ensamblajes y nexos (Schatzki, 2001). Se han diferenciado a las prácticas dispersas de las integradoras, las primeras son hechos y dichos genéricos de la vida cotidiana, las segundas son prácticas complejas que son constitutivas de dominios particulares de la vida social (Schatzki, 1996). Por la naturaleza de este trabajo, se enfatiza sobre las prácticas en el dominio del cambio paisajístico que se encuentran en la intersección de varias prácticas integradoras, las cuales han sido estudiadas con una denominación diversa, en ocasiones de forma genérica, simplemente como prácticas de uso de suelo en las que se incluyen la expansión agrícola, la deforestación, el establecimiento de áreas de pastos, el desarrollo urbano, recolección de madera o el mantenimiento de bosques (Zida *et al.*, 2019). Otras veces se ha llamado la atención sobre la importancia de las prácticas sociales informales para incidir en el paisaje al guiar el comportamiento de los pobladores en función de la titularidad sobre los derechos sobre la tierra (Ellickson, 1991). En forma más formal, también se ha estudiado la incidencia en el paisaje de las prácticas sociales de carácter legal que definen el acceso a la tierra (Tseer *et al.*, 2024). También se les ha llamado de forma más específica como prácticas agrícolas, pastoriles o de regulación (Young, 2001) o simplemente como prácticas de manejo o de subsistencia en las que se incluyen diversas estrategias de vida con fuertes implicaciones en los paisajes (Rieger, 2023). Lo común, es que todas estas prácticas sociales son influidas por fuerzas impulsoras de cambio que pueden tener un carácter económico, político, cultural, demográfico o ecológico. Recientemente, ha venido ganando atención el estudio de la posibilidad de reconfigurar estas prácticas, esto con miras a transitar hacia un futuro más sustentable (Shove y Spurling, 2013), de esta forma empieza a desarrollarse un conjunto de fuentes bibliográficas especializadas en cambios o transiciones sociales mediante la reconfiguración, sustitución o creación de prácticas. En la base de estos estudios se encuentra la dicotomía estructura social-agencia³, en cuyo seno de esta última se encuentran las diferentes prácticas sociales. Algunas de estas investigaciones han explorado la posibilidad de cambiar o mejorar las prácticas sociales desde fuera de ellas, a través de reconfigurar componentes de la estructura social, tales como mercados, instituciones o significados culturales (Laakso *et al.*, 2021). Otros trabajos, en cambio, se han centrado en cambiar las prácticas desde la modificación interna de sus componentes, ya sea de naturaleza material (Fuentes y Fuentes 2022), o bien, desde su carácter ideológico, cultural o cognitivo (Roysen y Mertens, 2019).

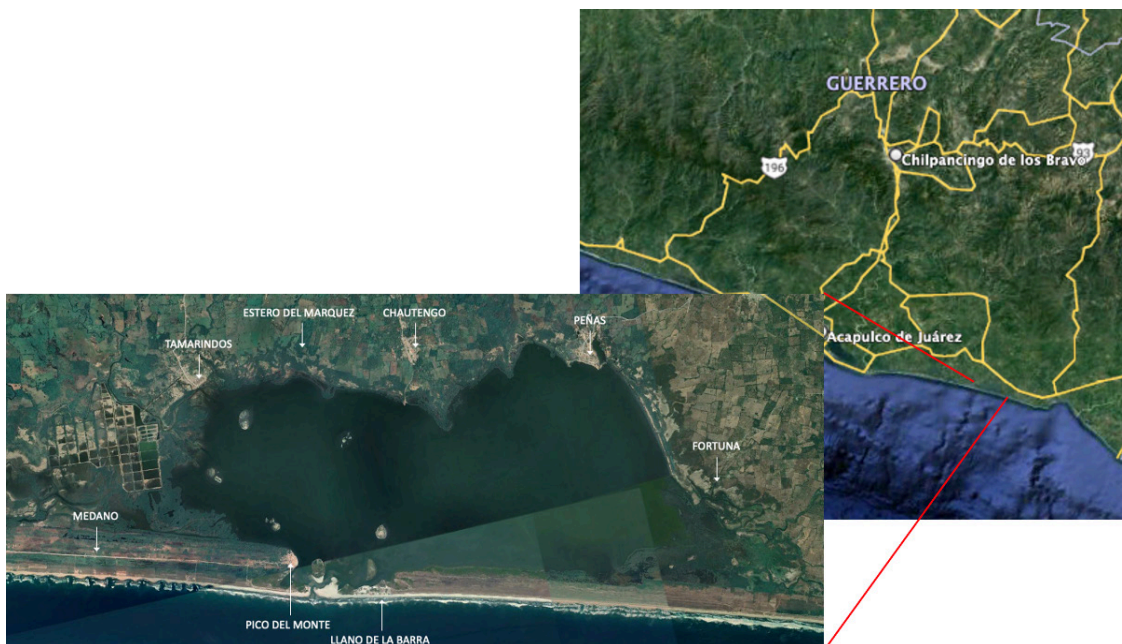
³ Existe una relativa indefinición del concepto de agencia humana, aquí se interpreta como la realización de selecciones sociales dentro de los confines de la estructura social, incluyendo su tendencia a reproducirse así misma, realización que es influida y a la vez influye en dicha estructura (Raelin, 2016).

METODOLOGÍA

Área de estudio

El paisaje costero estudiado se localiza en la región de la Costa Chica del estado de Guerrero, México, se ubica en un territorio en donde convergen tres municipios: Florencio Villareal, Copala y Cuauhtepec. El clima del lugar es tropical subhúmedo, AW1, con lluvias en verano y seco en invierno (García, 2004), dicha condición climática permite el desarrollo de una gama de ecosistemas naturales acuáticos y terrestres tales como: ríos, humedales costeros, la laguna costera y bosques de selva baja y mediana, caducifolia y subcaducifolia. En el paisaje se ubican ocho comunidades (figura 1) con densidades que van de los 400 a 1200 pobladores por localidad, todos ellos de bajos recursos y dedicados fundamentalmente a actividades primarias, principalmente a la pesca y en segundo lugar a la agricultura. El criterio para delimitar el paisaje fue la incidencia en el territorio de las actividades de los pobladores de las ocho comunidades, es decir, hasta donde los pobladores, por sus actividades de subsistencia, afectaban de alguna manera el paisaje.

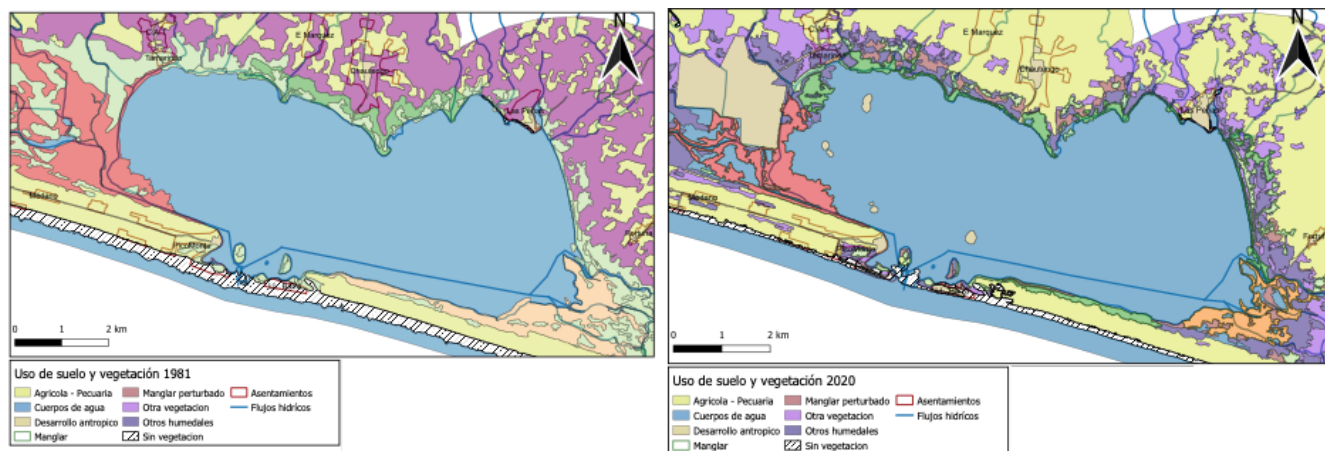
Figura 1. Ubicación del paisaje costero y de las ocho comunidades estudiadas



Fuente: Imágenes de satélite y trabajo de campo.

El estudio del paisaje se realizó mediante la aplicación de metodologías complementarias para estimar aspectos ecológicos y sociales. La metodología ecológica contempló el análisis de las imágenes de satélite del paisaje costero de los años que, según algunos pobladores, fueron los de cambio más abrupto, estos fueron: 1981, 2005, 2010, 2015 y 2020, mediante las cuales se detectaron los cambios en la estructura del paisaje mediante el sistema de información geográfica IDRISI. Las imágenes de satélite se trabajaron con ocho unidades del paisaje propuestas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), estas fueron: agrícola pecuaria, cuerpos de agua, desarrollo antrópico (áreas transformadas por el hombre sin fines productivos), manglar, manglar perturbado (manglar con baja densidad arbórea), otra vegetación (predominantemente selva baja caducifolia), otros humedales (áreas de humedal sin vegetación arbórea) y sin vegetación (playas). Un segundo punto metodológico consistió en la revisión de 64 reportes de investigaciones anteriores sobre las diferentes áreas del paisaje. Finalmente, se realizó una evaluación en campo en los meses de agosto y noviembre de 2022, esto en 32 sitios de muestreo aledaños a las ocho comunidades humanas, consistente en un muestreo ecológico rápido que contemplo aspectos hidrodinámicos (dirección y entrada de corrientes), hidrológicos (pH, temperatura, nutrientes y salinidad), geológicos (forma lagunar y profundidad), así como aspectos ecológicos, centrados principalmente en las aves (Kelly, 2005).

Figura 2. Muestra de dos imágenes de satélite clasificadas de 1981 y 2020



Testimonios y evidencias proporcionadas por pobladores.

Con los pobladores del lugar se realizaron reuniones de trabajo en forma individual y colectiva, así como se participó en dos asambleas generales con representantes de las ocho comunidades, pero la base de la metodología fueron las entrevistas semi-estructurada, diseñadas en principio a partir de la revisión de la literatura del lugar y ajustadas posteriormente en el trabajo de campo. Los criterios utilizados para seleccionar a los entrevistados fueron dos: que su actividad laboral los mantuviera en contacto directo con algún tipo de los ecosistemas que conforman el paisaje, y que tuvieran una participación reconocida en los problemas de su comunidad. Se entrevistaron a ocho miembros por comunidad para dar un total de 64 entrevistas, las cuales se realizaron en dos periodos de trabajo de campo, el primero en agosto de 2022 y el segundo en octubre de 2023. A la par de las entrevistas, se registraron observaciones, tomando notas manuscritas sobre las condiciones y características de las comunidades, así como de las formas rutinarias que los pobladores exhibían al interactuar con los ecosistemas del paisaje. En el trabajo sobre las fuerzas impulsoras, a los entrevistados se les cuestionó inicialmente qué cambios había notado en la historia de los lugares y posteriormente sobre lo que pensaba acerca de las causas de dichos cambios. Las prácticas sociales fueron entendidas como formas de actividades que se realizan en forma rutinaria y que al despegarse en el tiempo y en el espacio pueden ser identificables como una unidad (Schatzki, 2001; Reckwitz, 2002). Las preguntas básicas en este campo fueron: ¿qué actividad hace en el territorio?, ¿por qué hace dicha actividad?, ¿cómo realiza la actividad?, y ¿con qué equipo o materiales realiza la actividad? Se debe tener en cuenta que, en ambos campos de indagación, impulsores de cambio y prácticas sociales, se utilizaba preguntas disparadoras de discursos y narrativas de múltiples y diversos contenidos, por ello, las preguntas se reformulaban o profundizaban para ajustarse a las particularidades de comunicación de los entrevistados y a las necesidades de investigación, de tal forma que cada cuestionamiento dependía de los resultados previos (Hinkel *et al.*, 2016).

Procesamiento de la información

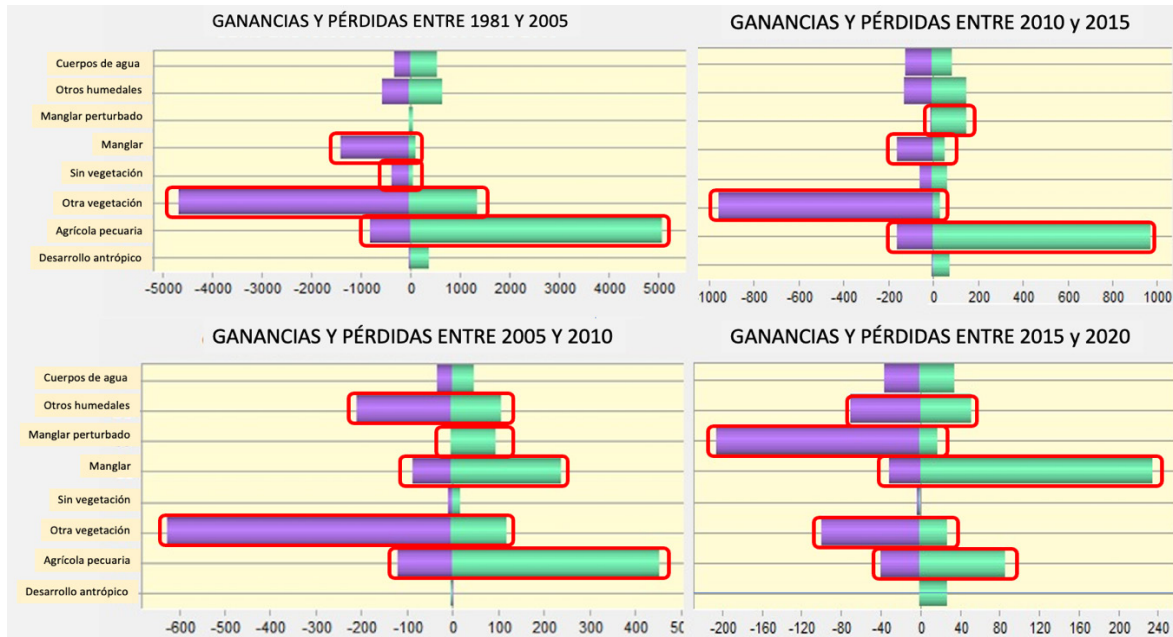
Todas las entrevistas se transcribieron literalmente para posteriormente aplicarles un análisis cualitativo de contenido para definir unidades de análisis y de significado (Graneheim y Lundman, 2004). Con la información obtenida mediante las entrevistas y observaciones en campo se detectaron las fuerzas impulsoras de cambio locales mediante el rastreo de procesos (process-tracing) para analizar las evidencias de procesos, secuencias y convergencias de eventos (Gerring, 2006), de esta forma se identificaron las interacciones sociales y ecológicas que estuvieran asociadas con cambios en la configuración del paisaje. Como el rastreo de procesos se basa en la lógica bayesiana que entiende la probabilidad basada en el estado de conocimiento, lo que se buscó fue inferir la complejidad causal del cambio paisajístico adquiriendo gradualmente información adicional (Checkel, 2015), de esta forma se confeccionó una explicación que tomó en cuenta los diferentes aspectos para explicar un resultado (Beach y Pedersen,

2013), los pasos seguidos para ganar entendimiento de las causas fueron los siguientes: a) identificar mecanismos causales mediante revisión teórica bajo una óptica holística, b) refinar los mecanismos teóricos a partir de su factibilidad contextual, c) contrastar la explicación con las narrativas encontradas en las entrevistas y d) combinar las distintas explicaciones del cambio paisajístico en conglomerados de mecanismos explicativos.

Dinámica de cambios en el paisaje costero

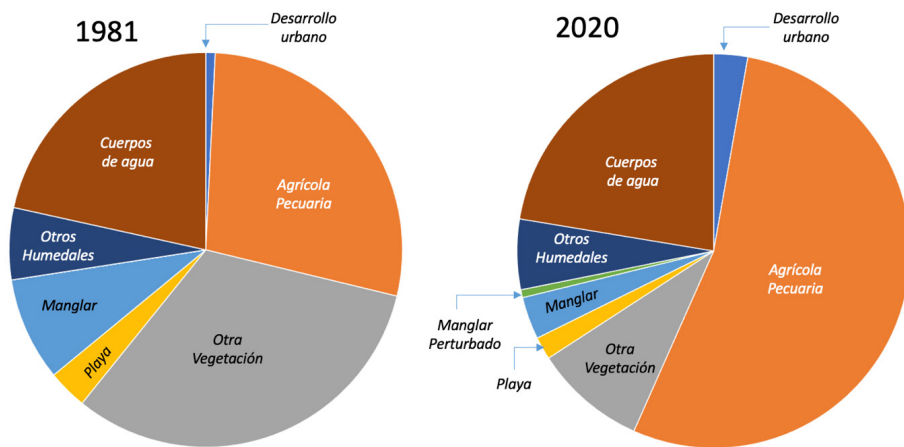
Los resultados del análisis de las imágenes de satélite se presentan en la gráfica 1, la cual muestra las ganancias y pérdidas en hectáreas para las ocho unidades del paisaje estudiadas en cuatro periodos de tiempo: de 1981 a 2005, de 2005 a 2010, de 2010 a 2015 y de 2015 a 2020. Todos los periodos se muestran a diferentes escalas con el fin de hacerlos comparativos en una misma presentación. El primero es de una escala mayor que los restantes, en él los datos se presentan en miles de hectáreas y constituye el periodo más crítico, pues se destaca la pérdida de aproximadamente 1,500 hectáreas de manglar que probablemente esté asociado al huracán Paulina, que en octubre de 1997 causó grandes daños a la Costa Chica del estado de Guerrero (Matías, 1998; Villegas *et al.*, 2009). Para el mismo período, se destaca también la gran pérdida de casi 5,000 hectáreas de la unidad: Otra vegetación, la cual fundamentalmente se conformaba de selva baja caducifolia. La ganancia para el mismo período, de también aproximadamente 5,000 hectáreas, de la unidad: Agrícola pecuaria, hace suponer el fuerte proceso de deforestación realizado sobre la selva baja que dejó paso a terrenos agropecuarios. En el resto de los periodos siguió existiendo una pérdida de la selva baja, pero a una tasa menor: Para el periodo de 2005 a 2010 fue de más de 600 hectáreas, entre 2010 y 2015 fue de casi 1000 hectáreas y entre 2015 y 2020 la pérdida fue de alrededor de 100 hectáreas. Por otra parte, en todos los periodos se manifiestan ganancias de la unidad agrícola pecuaria, lo que habla de un proceso de deforestación continuado a lo largo de todos los años de estudio. El dato que se sale de patrón de pérdidas de ecosistemas naturales y la ganancia de sistemas antrópicos es el del periodo de 2015 a 2020, en el cual el manglar registra un crecimiento de más de 200 hectáreas. En la gráfica 2 se presentan en forma sintética el total de cambios en el paisaje desde 1981 hasta 2020.

Gráfica 1. Ganancias (en verde) y pérdidas (en morado) de las ocho unidades del paisaje estudiadas durante cuatro periodos de tiempo



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2. Cambios porcentuales totales en el paisaje de 1981 a 2020



Fuente: elaboración propia.

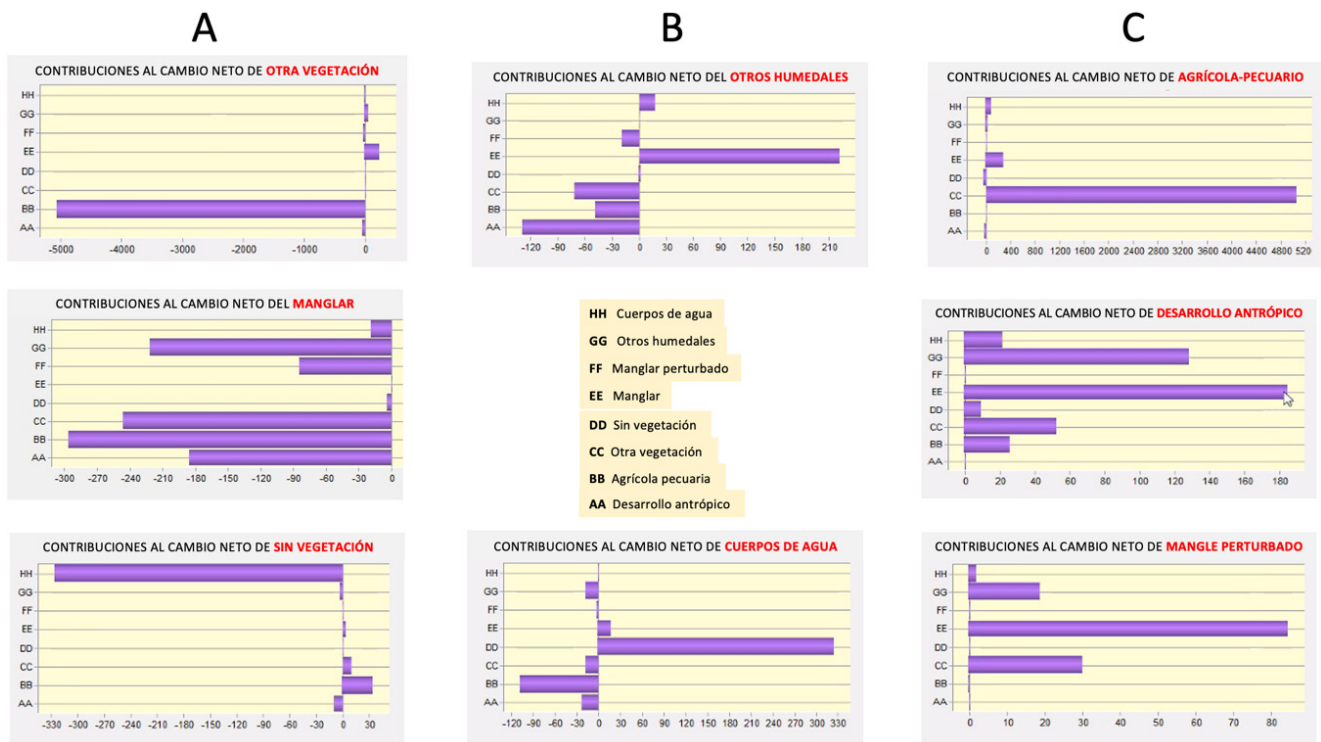
En forma más analítica, las ocho unidades del paisaje estudiadas se pueden diferenciar en tres grandes categorías (columnas A, B y C de la gráfica 3). En la primera de ellas se ubican las unidades: otra vegetación, manglar y sin vegetación, caracterizadas todas ellas por perder superficie a favor de otras unidades. En la segunda categoría se ubicaron las unidades: otros humedales y cuerpos de agua, las cuales mantuvieron cierto balance, pues perdieron, pero a la vez ganaron superficie espacial durante el periodo señalado. En la tercera categoría se ubicaron las unidades: agrícola pecuario, desarrollo antrópico y mangle perturbado, las cuales incrementaron su superficie por ser las receptoras de las hectáreas cedidas por otras unidades.

Con las estimaciones del cambio neto de las unidades del paisaje se pudo inferir los flujos de hectáreas cedidas o ganadas entre ellas (figura 3). Lo más notable en estos flujos es la pérdida de 5,000 Ha de otra vegetación, la cual circundaba a la laguna de Chautengo. Normalmente, esta vegetación circundante a las lagunas costeras cumple la función de retener el suelo (Scott *et al.*, 2014), de tal manera que su desaparición seguramente implicó una pérdida de suelo a través de arrastres fluviales y aluviales y que han incidido en el azolvamiento lagunar. El otro flujo destacable es la pérdida de 1,045 Ha de manglar y de las distintas funciones ecológicas que suelen aportar a los paisajes costeros, entre las que se destacan: el mantenimiento de la biodiversidad, la retención de sedimentos y la protección contra vientos y mareas. Cabe señalar que ambos flujos de pérdida representan una “pérdida ecológica” (Levers *et al.*, 2021) de grandes repercusiones para las comunidades rurales.

No se detectó la desaparición total de algún tipo de ecosistema natural en el paisaje, por lo que se puede decir que este mantiene su heterogeneidad y la gama de microclimas que aún pueden amortiguar ciertas fluctuaciones de organismos naturales. Pero sí se detectó una reducción en la extensión y en la disminución de la calidad de hábitat de todos ecosistemas naturales del paisaje: humedales, manglar, laguna costera y selva baja caducifolia. Los parches de los ecosistemas naturales vegetales son ahora de menor tamaño, lo que reduce la probabilidad de persistencia de las especies (Turner *et al.*, 2001). También se detectó una falta de conexión paisajística entre los ecosistemas naturales debida, en gran parte, a que las áreas agropecuarias crecientes no dejaron especies vegetales arbóreas o arbustivas nativas, de tal manera que ahora dicha matriz productiva mantiene un contraste alto con los parches de hábitat originales, generando así un aislamiento de aquellas especies de baja movilidad incapaces de aprovechar los recursos de la matriz agrícola (Tscharntke *et al.*, 2005). Todo esto está generando una afectación diferencial en la persistencia de la biota, en general las especies más afectadas son las de requerimientos más específicos y asociados a los ecosistemas naturales (Cronin *et al.*, 2019). En condiciones como las descritas, las especies menos afectadas son las sinantrópicas capaces de aprovechar los recursos de los parches nativos originales y los de la matriz productiva ahora desarrollada (Tscharntke *et al.*, 2005). En general, la fragmentación de los ecosistemas naturales y su parcial deterioro incrementa el riesgo ecosistémico en el paisaje, particularmente aumenta la probabilidad de invasiones de especies. Si a esto se le suma que ahora existen en el paisaje un incremento gradual de procesos de deterioro geofísicos, tales

como el desbalance en el transporte de sedimentos, un flujo de contaminantes a los sistemas acuáticos provenientes de las áreas urbanas y agrícolas y las alteraciones de los patrones hidrológicos, el riesgo de colapsos ecosistémicos es alto en el paisaje.

Gráfica 3. Cambio neto en superficie de las 8 unidades del paisaje durante el periodo de 1981 a 2020



Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a la conservación de la laguna de Chautengo, resulta difícil emitir un juicio sobre su condición debido a que esto requeriría el desarrollo de experimentos costosos y de larga duración (Beisner *et al.*, 2003). Lo que se puede afirmar es que el ecosistema lagunar se encuentra en un estado de mayor riesgo frente a los cambios en el paisaje pues, aunque su superficie detectada permanece sin grandes cambios al haber mantenido un cierto balance entre las ganancias y pérdidas de hectáreas, las entrevistas brindaron datos sobre cambios no espaciales, principalmente su contaminación, azolvamiento y la pérdida de profundidad asociada a ello. Este incremento de sedimentación parece relacionarse con cuatro causas principales: la primera y más reciente, es la desviación del curso del río Nexpa, que en lugar de descargar sus aguas en el mar como antes acontecía, ahora lo hace en la laguna, aportando

sedimentos notoriamente⁴. La segunda, es la reducción del manglar que ahora tienen menor capacidad para retener sedimentos provenientes de las partes más altas de las cuencas, dicha reducción es tanto de su superficie, que disminuyó de 1,789 Ha en 1981 a 732 Ha para 2020, como de sus características morfométricas y densidad arbórea, pues los datos de campo indican una altura media de los árboles de 3,8 m, que resulta baja comparada con otros manglares de la zona y una densidad arbórea disminuida y asociada a una pérdida de biodiversidad en donde domina una sola especie de manglar: *Laguncularia racemosa*. La tercera causa del incremento sedimentario en la laguna, es el incremento en la extensión agropecuaria de casi 5,500 hectáreas en el período estudiado, con lo cual han aumentado los arrastres aluviales y fluviales de sólidos suspendidos. La cuarta causa que abona a la sedimentación lagunar se relaciona con la apertura irregular de la boca lagunar por parte de los comuneros, dicha apertura depende de decisiones humanas que responden a las presiones sociales por parte de aquellos pobladores a los que se les llega inundar sus viviendas cuando la boca se encuentra cerrada, pero no responde a los ciclos naturales de flujo hídrico que anteriormente mantenía un balance sedimentario. Como consecuencia de lo anterior, actualmente parece que la transformación incremental del patrón sedimentario está afectando al régimen hidrológico, pues en las entrevistas se detectó que varios pobladores han notado diferentes variaciones en el régimen de inundación lagunar. Aunado a lo anterior, la extensión agropecuaria ha incrementado la contaminación generada por el uso de fertilizantes e insecticidas utilizados en los cultivos vecinos a la laguna, así, estos productos agropecuarios se suman a los residuos contaminantes domésticos generados por las ocho comunidades que viven alrededor de la laguna y que parece relacionarse con la mortalidad de peces que periódicamente se presenta.

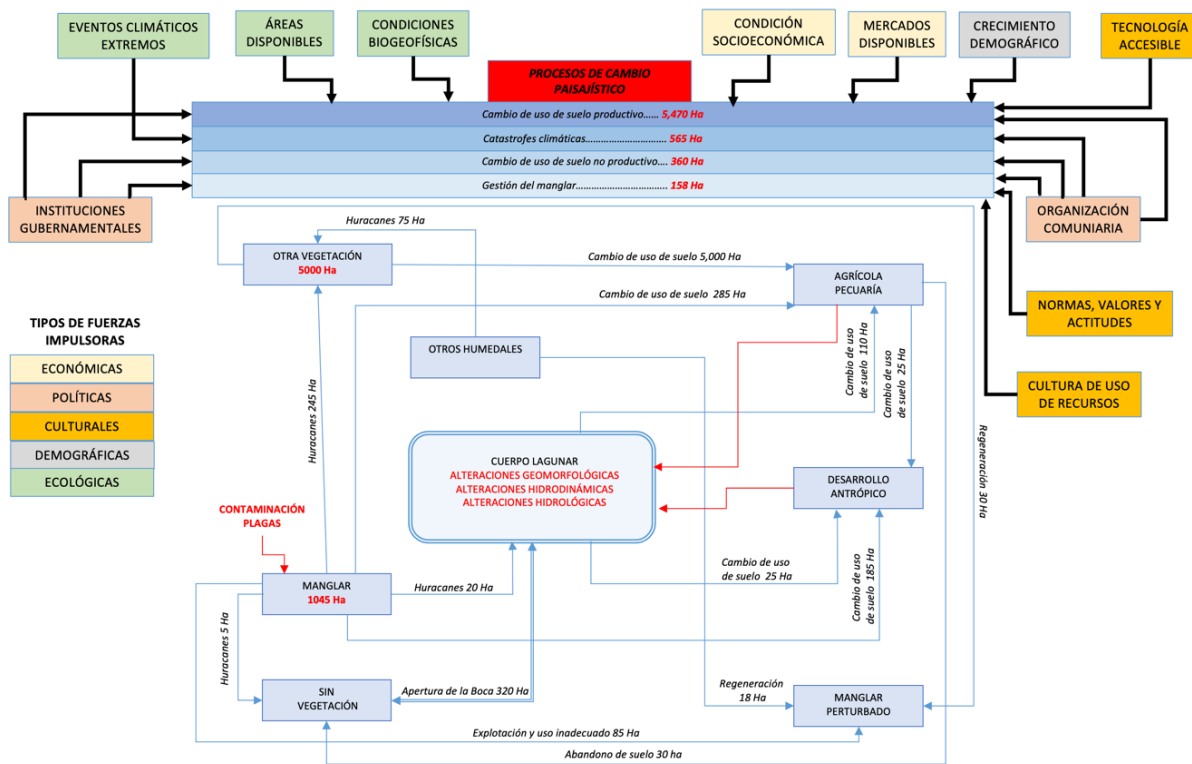
Impulsores del cambio paisajístico

Las fuerzas impulsoras son el conjunto de factores de distinta naturaleza que influyen sobre el paisaje, principalmente al incidir en el proceso de toma de decisiones de los diferentes actores que participan en los cambios de uso del suelo (Asselen *et al* 2013). Estas fuerzas se han conceptualizado como factores contextuales de los sujetos que interactúan con las particularidades de estos para definir así un tipo de comportamiento (Bürgi *et al.*, 2022), se encuentran en las condiciones estructurales de los actores a los que afectan a corto, mediano y largo plazo, así como a diferentes escalas espaciales pequeñas, medianas o mayores (Plieninger *et al.*, 2016) y pueden ubicarse localmente o en forma más distante,

⁴ Esta aportación de sedimentos ha reducido la profundidad en la parte de la laguna donde descarga el río Nexpa, a tal grado que ya se detectan superficies terrestres en donde antes eran superficies lagunares.

o bien, actuar integralmente en forma mixta y multinivel (Piketty *et al.*, 2015). En esta investigación se trabajó exclusivamente con fuerzas impulsoras internas del paisaje, es decir, locales y aunque estas fuerzas pueden incidir en diferentes actores, tales como: propietarios de tierras, organizaciones de agricultores, instituciones gubernamentales o empresas (Debonne *et al.*, 2021), aquí se concentró en la incidencia de las fuerzas en los actores primarios, es decir, los pobladores comunitarios, debido a que son ellos los que directamente han estado generando los cambios en el paisaje costero. Las fuerzas impulsoras pueden ser de naturaleza muy diversa, por ello se han aplicado distintas clasificaciones en ellas, pues esto depende del contexto en donde se estudien (Bürge *et al.*, 2022). En este caso, el trabajo de rastreo de procesos arrojó diferentes tipos de fuerzas impulsoras, las cuales se identificaron a partir de rastrear los 4 principales procesos de cambio identificados mediante el análisis de las imágenes, estos procesos fueron: 1. cambio de uso de suelo productivo, 2. catástrofes climáticas, 3. cambio de uso de suelo no productivo y 4. gestión del manglar (ver figura 3).

Figura 3. Procesos de cambio paisajístico y los diferentes tipos de fuerzas impulsoras que inciden en ellos



Fuente: elaboración propia.

El trabajo de rastreo de procesos realizado con la información obtenida a través de las entrevistas, detectó que inciden en estos procesos de cambio del paisaje 11 fuerzas impulsoras, clasificadas de la siguiente manera: dos económicas (condición socioeconómica de los pobladores y mercados dominantes); dos políticas (instituciones gubernamentales y organización comunitaria); tres culturales (tecnología accesible, normas, valores y actitudes culturales y cultura de uso de recursos): una demográfica (crecimiento demográfico) y 3 ecológicas (áreas disponibles y condiciones biogeofísicas y eventos climáticos extremos). Todas las fuerzas impulsoras se encuentran en expresiones variables, mostrando una tipología, dirección y ritmos específicos y vinculados a las condiciones del paisaje al que pertenecen (Pinto-Correia y Kristensen, 2013). Por ello, las fuerzas impulsoras identificadas responden al tipo de paisaje estudiado y conforman un conglomerado que actúa conjuntamente y en forma única para incidir en la toma de decisiones de los pobladores. Solo con fines analíticos estas fuerzas son revisadas en forma individual y de acuerdo a la tipología descrita anteriormente.

Fuerzas impulsoras económicas

Estas fuerzas fueron señaladas por su incidencia en el cambio de uso de suelo productivo y también ellas han sido destacadas como los aspectos más importantes que influyen en la toma de decisiones de los pobladores de un lugar (Bürgi *et al.*, 2022). Pero estas fuerzas conforman una categoría amplia que abarca diversos constituyentes, dentro de los cuales, los más directamente relacionados con los actores son los patrones de consumo y la infraestructura productiva (Zhao *et al.*, 2021). En cuanto a la condición socioeconómica, se ha reportado que estos impulsores llegan a tener mayor influencia en los habitantes de mejor economía, pues en los tomadores de decisiones pobres con escasos recursos y pequeñas parcelas de tierra, se ha encontrado que su incidencia es menor (Jahanger *et al.*, 2022). Sin embargo, en este estudio se encontró que la condición socioeconómica de los usuarios de los recursos costeros resulta decisiva para ampliar la superficie de suelo productivo y los entrevistados señalaron que las personas con mayores recursos económicos suelen deforestar áreas más extensas. Los impulsores económicos interactúan estrechamente con los demográficos, ya que el crecimiento poblacional tiende a impactar la economía de los pobladores que se ven orillados a buscar una mayor producción (Zhao *et al.*, 2021), los datos encontrados aquí parecen confirmar esta cadena que podría sintetizarse como: crecimiento poblacional, economía, incremento productivo y cambio paisajístico. La otra fuerza económica destacada en las entrevistas fue: los mercados disponibles, ya que se encontró que estos inciden sobre las decisiones de los actores, sobre qué, cuándo y cuánto producir (ver figura 3). Este hallazgo resultó inesperado, pues los habitantes investigados se pueden identificar como de subsistencia y se sabe que, en ellos los mercados para sus productos de campo suelen tener una baja incidencia en las decisiones productivas que toman (Roy y Turner, 2006), sobre todo en este caso de pobladores que suelen subsistir princi-

palmente de la pesca. Esta información indica la importancia que ha ido adquiriendo su producción agropecuaria, la cual se comercializa principalmente en los mercados regionales con la finalidad de poder adquirir otros bienes necesarios, lo cual conforma una estrategia de vida relativamente común de comunidades costeras en países con bajo desarrollo económico (Duku *et al.*, 2022).

Fuerzas impulsoras políticas

Los datos obtenidos indicaron que las instituciones gubernamentales influyen sobre casi todas las decisiones relacionadas con los procesos de cambio paisajístico, excepto para el caso de las catástrofes climáticas (ver figura 3). Resulta necesario señalar que el paisaje en estudio se caracteriza por tener una marcada debilidad institucional federal y estatal, el único nivel que se hace presente en el área es el municipal y solo en campos específicos relacionados principalmente con el comercio y la vivienda, su incidencia es casi nula en lo relacionado a los cambios del paisaje. Es reconocida la importancia de las instituciones del gobierno para gestionar a las diferentes partes interesadas que suelen confluir en las zonas costeras (Debone *et al.*, 2021). Pero también se reconoce que existe una crisis de gobernanza en los paisajes costeros, debido principalmente a los intrincados e interconectados desafíos inherentes a las regiones costeras, producto de los diversos y numerosos actores que suelen confluir en ellas (Gonçalves y Pinho, 2024). De esta forma, el paisaje costero estudiado manifiesta un padecimiento común: instituciones públicas débiles y políticamente frágiles, de tal forma que por el momento dichas instituciones inciden negativamente en las decisiones de los habitantes, que como en muchos otros lugares costeros, hacen riesgoso e ineficaz el sector de uso y extracción de recursos naturales (Mlambo, 2022). Por otra parte, la organización comunitaria del lugar también es débil y, a decir de los entrevistados, esta carencia afecta la desregularización de las decisiones, lo que a su vez incide negativamente en todos los procesos de cambio paisajístico (ver figura 3). La carencia organizativa existe a diferentes niveles: al interno de las comunidades excepcionalmente existe algún tipo de liderazgo, las relaciones entre comunidades son limitadas y los pobladores comunitarios rara vez interactúan con otro tipo de actores u organizaciones. Esta carencia organizativa resulta grave si se tiene en cuenta que la conservación y el buen funcionamiento de los paisajes requiere de conectar a grupos diversos de partes interesadas para lograr los objetivos de conservación (Allen *et al.*, 2022). Además, ahora se reconoce la importancia de que los habitantes de diferentes zonas costeras se conecten a través de organizaciones, reconocimiento que se basa en la apreciación de que muchos problemas costeros se derivan de un conjunto de desafíos centrales que se repiten en diversos contextos (Bodin, *et al.*, 2019). También esta debilidad organizativa detectada, constituye una importante carencia si se toma en cuenta que la organización comunitaria de poblaciones marginadas como las estudiadas, resulta una opción importante, no solo para afrontar el incremento de

desastres naturales asociados al cambio climático, sino también para amortiguar las desigualdades sistémicas y políticas poco favorables que históricamente han acompañado a este tipo de comunidades (Liu *et al.*, 2022).

Fuerzas impulsoras culturales

Las fuerzas impulsoras culturales contienen diversas dimensiones relacionadas con la forma en que los pobladores se relacionan cotidianamente, se gobiernan o interactúan con su entorno natural o con personas alejadas de sus comunidades (Poe *et al.*, 2014). En el estudio, tres de estas dimensiones culturales emergieron: la tecnología accesible que se ha transmitido generacionalmente, las normas, valores y actitudes culturales, así como la cultura de uso de recursos naturales, la primera de ellas incide en los cambios de uso de suelo productivo y las otras en la forma en que se gestiona localmente el manglar (ver figura 3). Los pobladores del lugar son pequeños propietarios orientados al mercado y, en general, manifiestan una actitud positiva hacia el medio ambiente, al igual que la mayoría de los propietarios de su tipo (Bürgi *et al.*, 2022). Pero este interés ambiental solo es reciente, pues los entrevistados señalaron que en la historia del lugar los objetivos productivos han predominado sobre los ambientales, de tal forma que en esta característica se encuentra la base del daño que han sufrido los ecosistemas del paisaje, en especial la laguna y el manglar. Estas fuerzas culturales interactúan con las políticas, en especial con la debilidad de las organizaciones comunitarias, debido a que no se detectan grupos o instituciones comunitarias que desempeñen papeles importantes en la promoción de la protección del medio natural, tal como sucede en otras comunidades rurales (Maru *et al.*, 2020). Se ha documentado que la gestión de los paisajes es más efectiva y tiende más a su conservación cuando las personas que los habitan tienen intereses profundamente arraigados en ellos (Pearson y Gorman, 2023), pero esto es contrario a lo que ha sucedido históricamente en la zona de estudio, donde la cultura comunitaria incide para que los decisores se orienten más hacia fines individualistas que comunitarios para generar de esta forma riesgosos cambios paisajísticos.

Fuerzas impulsoras demográficas

A decir de los pobladores del lugar, el crecimiento demográfico de las distintas comunidades ha incidido notoriamente para que los habitantes tomen decisiones de cambios de uso de suelo productivo y no productivo. Es bastante común que los pobladores pobres de las zonas costeras exhiban un alto crecimiento poblacional y que ello afecte directa y principalmente a las decisiones de extender o crear áreas productivas para atender sus necesidades (Mustățeș y Pătru, 2021). Pero tal vez la afectación más seria del crecimiento demográfico se genere al interactuar éste con otras fuerzas impulsoras así, por ejemplo,

se sabe de su fuerte conexión con las fuerzas culturales al incidir en los tomadores de decisiones para intensificar y extender el suelo edificable y el desarrollo de la construcción humana, lo cual suele interrumpir las conexiones entre los parches del paisaje de tierras rurales a través de invasiones de límites u ocupaciones discontinuas (Jiang *et al.*, 2019). Asimismo, se sabe de la fuerte relación que mantiene el aumento numérico de los habitantes en zonas pobres con el incremento de actividades humanas causantes de deterioro tales como las descargas de aguas residuales, la eliminación de residuos sólidos domésticos y de actividades productivas, así como de diversos materiales químicos tales como: monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono, hidrocarburos o plomo (Lin *et al.*, 2022).

Fuerzas impulsoras ecológicas

En áreas extensas y con limitadas condiciones biogeofísicas, abundantes en zonas costeras de países con desarrollos económicos limitados, los habitantes suelen tomar las decisiones de extender sus actividades productivas a costa de los ecosistemas naturales (Mellor, 2017). De acuerdo con las entrevistas, estas decisiones han sido comunes en el área y han tenido efectos nocivos al afectar severamente los patrones de sedimentación y el incremento del flujo de contaminantes a los sistemas acuáticos del paisaje. La sedimentación es un problema grave en caudales ambientales cerrados temporalmente como las lagunas costeras, pues conforman ecosistemas ubicados en las partes bajas de las cuencas, con conexiones oceánicas estacionalmente interrumpidas. Con este acoplamiento espacial, en estos sistemas acuáticos los procesos sedimentarios pueden cambiar severamente y convertirse en una amenaza por su estrecho acoplamiento con los flujos de sedimento provenientes de las partes altas de las cuencas y de los procesos litorales (Stein *et al.*, 2021). Particularmente, las lagunas costeras constituyen zonas de transición que unen los sistemas marino, costero y terrestre, ellas suelen ser receptoras de contaminantes antropogénicos que arriban a estos sistemas por arrastre aluvial, por flujos fluviales y por deposición atmosférica (Gallo *et al.*, 2022). Los datos de las entrevistas indicaron que los procesos de contaminación y sedimentación se han acrecentado notoriamente en el paisaje debido a los eventos climáticos extremos por lo que ha atravesado⁵ y cuyo efecto directo se calcula en una transformación del 10 % de este paisaje (ver figura 3). Sin embargo, sus efectos indirectos son más devastadores y se producen cuan-

⁵ Tres fenómenos nucleares ocurridos en el paisaje, las plagas denotadas por los locales que devastaron y modificaron al ecosistema, los huracanes Paulina en el año 1997, Ingrid y Manuel en 2013 y Max en 2017, los cuales provocaron modificaciones abruptas, reconocidas tanto por locales como por literatura (Villegas *et al.*, 2009; Toscana y Villaseñor, 2018).

do interactúan en forma sinérgica con otros procesos locales (Jackson *et al.*, 2021). Así, por ejemplo, el azolvamiento lagunar se incrementa en forma exponencial cuando los eventos climáticos extremos llegan a este paisaje que tiene un ecosistema de manglar debilitado y con poca capacidad para cumplir la función de retención de sedimentos. Esto se complica aún más porque la configuración paisajística de uso agropecuario resulta poco eficaz para retener el suelo, los fertilizantes e insecticidas utilizados en las áreas agropecuarias aledañas a la laguna.

Prácticas sociales y configuración del paisaje

Las fuerzas impulsoras tratadas en el apartado anterior representan estructuras sociales objetivas que, como en muchas otras áreas terrestres, ejercen distintos tipos de condicionamientos para la acción humana (Petrosillo *et al.* 2021). En la medida que los distintos estructurantes sociales objetivos sean interiorizados por los pobladores, se conformará una estructura social integral que repercutirá en la agencia de cada uno de ellos. En este binario de estructura social-agencia se encuentra la base antropogénica que impulsa formas de intervención en el paisaje (Roy Chowdhury y Turner, 2006). La forma en que interactúan la agencia y la estructura está definida por los factores contextuales (Paudel y Thapa, 2004), porque dicha interacción dependerá en parte de la dinámica histórica del proceso de construcción de los estructurantes externos objetivos, pero en parte también dependerá de aquellas particularidades de los actores, las cuales incidirán en la forma de internalizar las estructuras sociales (Christensen y Van Eetvelde, 2024). En el seno de la agencia se encuentran prácticas sociales de diferente tipo, las que interesan aquí son aquellas que llegan a configurar el paisaje y que se definen en la interacción estructura-agencia y que finalmente adquirirán rasgos particulares, siempre de acuerdo a las condiciones contextuales existentes.

En el caso del paisaje estudiado, el desarrollo histórico registrado de los estructurantes externos no fue particularmente notorio, por ejemplo, los de naturaleza política han crecido en forma limitada en un contexto donde las organizaciones comunitarias son escasas y la presencia de las instituciones de gobierno o de otro tipo es débil y restringida como para poder incidir efectivamente en las actividades humanas de la región. Esta debilidad se observa también en la falta de acuerdos de cualquier tipo entre las diferentes comunidades y entre éstas y grupos o instituciones externos, en la carencia de consejos comunitarios que organicen conjuntamente acciones consensadas, o bien, en la ausencia de programas o planes para mejorar las condiciones regionales. Por su parte, la estructura económica se encuentra fundamentalmente en el sector primario, conformada en su mayoría por comuneros con acceso al aprovechamiento pesquero y forestal, pero también con pequeñas propiedades donde ejercen cultivos orientados a la subsistencia y al mercado. En sus parcelas, los habitantes del paisaje han intensificado su producción mediante insumos agropecuarios de bajo costo y ambientalmente riesgosos. Como produc-

tores, depende de la mano de obra como su principal insumo y tienen un grado limitado de integración a mercados regionales. En cuanto a su estructura cultural, está conformada principalmente por habitantes afro mestizos y con escasos representantes indígenas. En la zona se habla predominantemente el español y las relaciones sociales entre ellos se centran en el trabajo y en las festividades. No se detectaron interacciones entre los pobladores del paisaje y actores externos, por lo que sus rasgos culturales se encuentran en un sistema de poca apertura. Debido a que su asentamiento en el paisaje es relativamente reciente, las creencias y valores ancestrales no son abundantes y la mayoría de los pobladores muestra valores y actitudes occidentalizadas con intereses predominantemente materiales.

Bajo el contexto estructural descrito, resulta poco realista pensar que la agencia de los pobladores sea particularmente amplia, en las observaciones de campo los actores del lugar se detectan preocupados por una creciente reducción en el paisaje, tanto para extraer como para producir en él, esto debido a que los recursos de los sistemas naturales se están agotando y en los sistemas de producción antrópicos su capacidad ha ido mermando a lo largo de los años. En estas condiciones, los pobladores no pueden distanciarse de la urgencia de sus prácticas de aprovechamiento y producción actuales, pero el problema es que las primeras tienden a ser agresivas para los ecosistemas naturales, por ejemplo, en el manglar se detecta la extracción continua de madera para usarse en la cocción de alimentos y para el cercado de casas y en la laguna, es generalizada la pesca con trasmallo, la cual impide la entrada y salida de peces y afecta negativamente el desarrollo de ciclo biológico de varias especies. Por su parte, las prácticas de producción se sustentan en cultivos temporales de baja rentabilidad, vulnerables a la erosión y con un uso abundante de insumos químicos, altamente riesgosos para la ecología del lugar.

Las prácticas sociales que pueden incidir en la configuración del paisaje son de diferente tipo, por ejemplo, desde el punto de vista legal y cultural, las prácticas sociales de acceso a la tierra pueden llegar a tener un efecto decisivo en los paisajes (Tseer *et al.*, 2024). En el área estudiada, estas prácticas resultaron cruciales en la historia del lugar para generar el proceso de extensión agrícola que permitió la subsistencia de la creciente población, pero al sustituir a los ecosistemas naturales, impactó negativamente a los procesos ecológicos del lugar. Sin embargo, las prácticas sociales con mayor capacidad para incidir en los paisajes son de dos tipos: prácticas de uso de la tierra y prácticas del manejo de la tierra, las primeras están orientadas a obtener servicios del paisaje (Bürgi *et al.*, 2022), en cambio, las segundas se dirigen principalmente a su cuidado (Paudel y Thapa, 2004). En el paisaje de Guerrero, las restricciones de la estructura social han favorecido solamente la creación de prácticas sociales productivas, pero como surgieron en un entorno relacional y material limitado, se identifica que estas prácticas son más consecuencia de reacciones impulsivas y menos de una visión a largo plazo. En estas condiciones, resulta posible detectar que las faltas y carencias de la estructura social del entorno han favorecido el desarrollo de formas de agencia perjudiciales para los mismos sujetos, situación que también ha sido reconocida en otros casos (Christensen y Van Eetvelde, 2024).

Las prácticas sociales de uso de recursos, tanto de aprovechamiento como productivas⁶, no necesariamente deben tener efectos negativos en el paisaje, pues ya se cuenta con experiencias y conocimientos, teóricos y prácticos sobre cómo hacer uso de zonas costeras sin ejercer daños ecosistémicos perjudiciales (Wezel *et al.*, 2015). En cuanto a las prácticas de manejo en las zonas costeras, cada vez resultan más necesarias frente a los impactos globales causados por el hombre y que resultan particularmente amenazantes para las costas de todo el mundo. Así, por ejemplo, se habla de la necesidad actual de gestionar disturbios naturales, fortalecer ecológicamente a las especies más amenazadas, restaurar o mejorar aquellas áreas costeras particularmente vulnerables, o bien, ejercer medidas sistemáticas orientadas a la conservación de los hábitats costeros (Putra *et al.*, 2023). Tomando en cuenta estas condiciones actuales para las zonas costeras, algunos pobladores del paisaje de Guerrero han empezado a reconocer la necesidad de reorientar sus prácticas de uso, así como empezar a trabajar en el desarrollo de prácticas de manejo costero, pero en las reuniones de trabajo con representantes comunitario, se ha detectado que el grueso de los pobladores finca sus esperanzas de cambio en dos alternativas centrales: organizarse para obtener mayores subsidios gubernamentales y realizar modificaciones tecnológicas a la laguna mediante su dragado y la construcción de una escollera que mantenga la boca lagunar permanentemente abierta. En cuanto a la primera alternativa, la literatura existente sobre los subsidios gubernamentales a las comunidades rurales costeras, alerta sobre lo contraproducente que pueden resultar estos apoyos cuando se dirigen a pobladores encuadrados en prácticas de uso convencionales, pues normalmente suelen utilizar estos apoyos para incrementar su capacidad productiva o de extracción, lo que finalmente termina agravando los problemas socioecológicos al reducir aún más la capacidad del paisaje para ofrecer servicios (Cisneros *et al.*, 2016; Sakai *et al.*, 2019; Sumaila *et al.*, 2019). En lo referente a la segunda alternativa, la experiencia en otras áreas costeras ha enseñado que los cambios geomorfológicos lagunares, particularmente los que implican alteraciones en las condiciones batimétricas o en la comunicación marina-agua dulce, pueden llegar a generar transformaciones en los patrones sedimentarios e hidrodinámicos de impredecibles consecuencias (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2024).

En un sentido de una aspiración social, algunos pobladores comunitarios han empezado a considerar la posibilidad de reconfigurar sus prácticas de uso a una orientación sustentable, así como iniciar la creación local de prácticas de manejo costero. La literatura actual sobre las prácticas sociales ha recalado la fuerte interdependencia existente entre estructura social y agencia, de tal manera que los actores llegan a ser moldeados por la estructura social, pero a la vez, ellos co-crean la estructura y pueden

⁶ Las prácticas de aprovechamiento se realizan en recursos naturales cuya producción depende de procesos naturales como, por ejemplo: pesca y explotación forestal, en cambio, en las prácticas productivas la producción depende principalmente de las acciones realizadas por los humanos, por ejemplo: acuicultura o agricultura.

condicionar sus opciones y acciones (Christensen y Van Eetvelde, 2024). La confirmación empírica de esta fuerte interacción estructura-agencia abre el camino para orientar el desarrollo del paisaje a una dirección socialmente deseable mediante el cambio de las prácticas en dos direcciones: desde la estructura o desde la agencia. Un enfoque estructural implicaría empezar por analizar qué factores contextuales favorecen el desarrollo de prácticas de uso sustentable y prácticas de manejo costero, en este sentido se ha señalado la importancia de órganos de dirección y de operación, tales como los consejos y comités comunitarios (Thom *et al.*, 2023). Desde la perspectiva de la agencia, habría que partir del análisis de la subjetividad y situacionalidad de los pobladores (Christensen y Van Eetvelde, 2024), principalmente en lo que se refiere a edad, género, formación y experiencia y, con esta base, formular estrategias de aprendizaje social a través de la creación de formas innovadoras de participación que rescaten los conocimientos ecológicos locales (Tubino de Souza, 2024). También desde este enfoque endógeno resulta crucial crear espacios de diálogo que promuevan la co-creación de acciones de conocimiento y con ello sentar las bases para transitar de una agencia no reflexiva en los pobladores locales a una de carácter reflexivo (Raelin, 2016).

CONCLUSIONES

El origen del presente trabajo se encuentra en la aspiración de servir como un instrumento que permita debatir con las partes interesadas en el paisaje costero, principalmente con los propios comuneros, los funcionarios involucrados y otros investigadores y académicos interesados en el lugar. Por ello, se buscó documentar, con evidencias de distinto tipo, cuáles han sido los principales procesos de cambio que se han ido gestando el cambio del paisaje, identificar las principales fuerzas impulsoras de cambio local y hacer un análisis reflexivo sobre las limitaciones actuales de las prácticas sociales de las comunidades que radican en los márgenes de la Laguna de Chautengo. El resultado final de esta labor investigativa, fue el de percibir que el paisaje costero estudiado posee una configuración actual que implica un alto riesgo para los ecosistemas naturales, principalmente para la laguna costera dado que los cambios en las áreas marginales, en los flujos hídricos y en la boca lagunar, han alterado su balance hídrico y sedimentario, además, por su ubicación en el paisaje, es la receptora de sedimentos y contaminantes que alteran su geomorfología y debilitan la estructura trófica de los distintos organismos que la habitan. Todo esto lleva a develar una configuración paisajística insustentable, cuya mejora va más allá de detener, limitar o reorientar las fuerzas impulsoras de cambio, pues el paisaje ha sufrido un fuerte proceso de antropización, en el cual no existen mecanismos de auto-regulación de flujos de agua, sedimento y organismos, como antes existían cuando la mayor parte de su superficie albergaba ecosistemas naturales que evolucionaron generando procesos homeostáticos que, mediante ciclos de retroalimentación negativa, contrarrestaban eventos externos riesgosos e imprevistos. En el paisaje actual de Chautengo

no existen mecanismos reguladores de ningún tipo, en estas condiciones los pobladores tendrían que asumir el auto-control de la región, tal vez ya no mediante mecanismos homeostáticos, pues en los paisajes predominantemente antrópicos los cambios son tan rápidos que en ellos resultan más apremiantes mecanismos alostáticos, es decir, que mantengan la estabilidad por medio del cambio, esto es así porque en los paisajes con predominancia antrópica no resulta muy factible pensar en mantener una constancia del medio interno, sino que más bien hay que desarrollar la capacidad de cambiar algunos constituyentes puntuales del paisaje para ajustarlo a los cambios que exige el dinámico entorno actual. Existe la posibilidad de que las prácticas de manejo costero asuman semejante reto, siempre y cuando los pobladores, en colaboración con otras partes interesadas del lugar, articulados con otros niveles superiores tales como municipal, estatal y nacional, que logren la construcción de un plan de acción global de incidencia, construido a partir de la discusión de todos los interesados en lograr un paisaje capaz de adaptarse a los cambios del entorno externo. A la par, también se hace necesario reconfigurar las intervenciones de los pobladores con el fin de modificar, moderar o resarcir los efectos de las fuerzas impulsoras, así como el de apoyar proyectos productivos que reduzcan la presión de aprovechamiento a los ecosistemas naturales de este paisaje que ahora se encuentran tan vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, K. E., McLean, S., y Pessagno, S. (2022). “Connecting Communities, Connecting Environments: The Role of Social Capital in Landscape-Scale Conservation”, *Society & Natural Resources*, 35(7): 763-783.
- Asplund, M. E., Dahl, M., Ismail, R. O., Arias-Ortiz, A., Deyanova, D., Franco, J. N., Gullström, M. (2021). “Dynamics and fate of blue carbon in a mangrove–seagrass seascape: influence of landscape configuration and land-use change”, *Landscape Ecology*, 36: 1489-1509.
- Asselen, S. V., Verburg, P. H., Vermaat, J. E. y Janse, J. H. (2013). “Drivers of wetland conversion: a global meta-analysis”, *PloS one*, 8(11): e81292.
- Beach, D. y R. B. Pedersen (2013). “Process-Tracing Methods”, Ann Arbor, University of Michigan Press.
- Beisner, B. E., Haydon, D. T., y Cuddington, K. (2003). “Alternative stable states in ecology”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(7): 376-382.
- Bodin, Ö., Alexander, S. M., Baggio, J., Barnes, M. L., Berardo, R., Cumming, G. S., ... y Sayles, J. S. (2019). “Improving network approaches to the study of complex social–ecological interdependencies”, *Nat Sustain* 2: 551–559.

- Bortolin, E. C., Weschenfelder, J., Fernandes, E. H., Bitencourt, L. P., Möller, O. O., García-Rodríguez, F., y Toldo, E. (2020). "Reviewing sedimentological and hydrodynamic data of large shallow coastal lagoons for defining mud depocenters as environmental monitoring sites", *Sedimentary geology*, 410: 105782.
- Bürgi, M., Celio, E., Diogo, V., Hersperger, A. M., Kizos, T., Lieskovsky, J. y Verburg, P. H. (2022). "Advancing the study of driving forces of landscape change", *Journal of Land Use Science*, 17(1): 540-555.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2018) "Panorama Social de América Latina 2017 (LC/PUB.2018/1-P)", Santiago de Chile, febrero. Christensen, A. A., y Van Eetvelde, V. (2024). "Decision making in complex land systems: outline of a holistic theory of agency", *Landscape Ecology*, 39(3): 72.
- Cisneros, M., A. M., Sanjurjo, E., Munro, G. R., Hernández-Trejo, V., y Sumaila, U. R. (2016). "Strategies and rationale for fishery subsidy reform", *Marine Policy*, 69: 229-236.
- Côté, I. M., Darling, E. S., y Brown, C. J. (2016). "Interactions among ecosystem stressors and their importance in conservation", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1824): 20152592.
- Cronin, J. T., Goddard, J., y Shivaji, R. (2019). "Effects of patch–matrix composition and individual movement response on population persistence at the patch level", *Bulletin of Mathematical Biology*, 81: 3933-3975.
- Checkel, J. T. (2015). "Mechanisms, process, and the study of international institutions", *Process tracing: From metaphor to analytic tool*, 74-97.
- Debonne, N., van Vliet, J., Metternicht, G., y Verburg, P. (2021). "Agency shifts in agricultural land governance and their implications for land degradation neutrality", *Global Environmental Change*, 66: 102221.
- Deininger, A. y Frigstad, H. (2019). "Reevaluating the role of organic matter sources for coastal eutrophication, oligotrophication, and ecosystem health", *Frontiers in Marine Science*, 6: 210.
- Duku, E., Mattah, P. A. D., Angnuureng, D. B. y Adotey, J. (2022). "Understanding the complexities of human well-being in the context of ecosystem services within coastal Ghana", *Sustainability*, 14(16): 10111.
- Ellickson, R. C. 1991. "Order Without Law: How Neighbors Settle Disputes", Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Finkl, C. W. y Makowski, C. (2021). "Coastal ecosystems of the world", *Journal of Coastal Research*, 1-230
- Fuentes, M. y Fuentes, C. (2022). "Reconfiguring food materialities: plant-based food consumption practices in antagonistic landscapes", *Food, Culture & Society*, 25(3): 520-539.

- Gallo, V. D., Restrepo, J. C. y Newton, A. (2022). "A socio-ecological assessment of land-based contamination and pollution: The Magdalena delta, Colombia", *Frontiers in Marine Science*, 9: 1057426.
- García E. (2004). "Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen", Instituto de Geografía, UNAM, México. 246 pp.
- Gerring, John (2006). "Single- Outcome Studies: A Methodological Primer", *International Sociology* 21(5): 707- 34.
- Gonçalves, C. y Pinho, P. (2024). "Does landscape play a role in the governance of the coastal region? An evolutionary perspective from Portugal since 1950", *Progress in Planning*, 181: 100811.
- Graneheim, U. H. y Lundman, B. (2004). "Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness", *Nurse education today*, 24(2): 105-112.
- Hayes, M. O., Owens, E. H., Hubbard, D. K. y Abele, R. W. (2020). "The investigation of form and processes in the coastal zone", *Coastal geomorphology*, 11-42.
- Hinkel, J., Bisaro, A. y Swart, B. (2016). "Towards a diagnostic adaptation science", *Regional Environmental Change*, 16(1): 1-5.
- Jackson, M. C., Pawar, S. y Woodward, G. (2021). "The temporal dynamics of multiple stressor effects: from individuals to ecosystems", *Trends in Ecology & Evolution*, 36(5): 402-410.
- Jahanger, A., Usman, M., Murshed, M., Mahmood, H. y Balsalobre-Lorente, D. (2022). "The linkages between natural resources, human capital, globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint: The moderating role of technological innovations", *Resources Policy*, 76: 102569
- Jiang, P., Li, M. y Lv, J. (2019). "The causes of farmland landscape structural changes in different geographical environments", *Science of the total environment*, 685: 667-680.
- Karimian, H., Zou, W., Chen, Y., Xia, J. y Wang, Z. (2022). "Landscape ecological risk assessment and driving factor analysis in Dongjiang river watershed", *Chemosphere*, 30: 135835.
- Kelly, C. (2005). "Guidelines for Rapid Environmental Impact Assessment in Disasters", London, Benfield Hazard Research Centre, University of London, UK.
- Kongkeaw, C., Kittitornkool, J., Vandergeest, P. y Kittiwatanawong, K. (2019). "Explaining success in community based mangrove management: Four coastal communities along the Andaman Sea, Thailand", *Ocean & Coastal Management*, 178: 104822.
- Laakso, S., Aro, R., Heiskanen, E. y Kaljonen, M. (2021). "Reconfigurations in sustainability transitions: a systematic and critical review", *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 17(1): 15-31.
- Lacoste, É., Jones, A., Callier, M., Klein, J., Lagarde, F. y Derolez, V. (2023). "A Review of Knowledge on the Impacts of Multiple Anthropogenic Pressures on the Soft-Bottom Benthic Ecosystem in Mediterranean Coastal Lagoons", *Estuaries and Coasts*, 1-18.

- Levers, C., Romero Muñoz, A., Baumann, M., De Marzo, T., Fernández, P. D., Gasparri, N. I. y Kuemmerle (2021). “Agricultural expansion and the ecological marginalization of forest-dependent people”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(44): e2100436118.
- Li, Z., Feng, Y., Dessay, N., Delaitre, E., Gurgel, H. y Gong, P. (2019). “Continuous monitoring of the spatio-temporal patterns of surface water in response to land use and land cover types in a Mediterranean lagoon complex”, *Remote Sensing*, 11(12): 1425.
- Ligorini, V., Crayol, E., Huneau, F., Garel, E., Malet, N., Garrido, M. y Pasqualini, V. (2023). “Small Mediterranean coastal lagoons under threat: Hydro-ecological disturbances and local anthropogenic pressures (size matters)”, *Estuaries and Coasts*, 46(8): 2220-2243.
- Lin, L., Yang, H. y Xu, X. (2022). “Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: a review”, *Frontiers in environmental science*, 10: 880246.
- Liu, J., Cooper, E., Johnson-Griffin, N. y Kessler, K. (2022). “Environmental Justice Needs Assessment for Disasters: Assessing the Landscape and Capacity of Organizations & Communities Working Towards Environmental Justice with Potential to Use NASA Earth Observations to Support Equitable Disaster Management and Risk Reduction”, *Develop Synthesis Report*, 1-35.
- Maru, Y., Gebrekirstos, A. y Haile, G. (2020). “Indigenous ways of environmental protection in Gedeo community, Southern Ethiopia: A socio-ecological perspective”, *Cogent Food & Agriculture*, 6(1): 1766732.
- Masselink, G., Russell, P., Rennie, A., Brooks, S. y Spencer, T. (2020). “Impacts of climate change on coastal geomorphology and coastal erosion relevant to the coastal and marine environment around the UK. MCCIP”, *Science Review*, 2020: 158-189.
- Matías Ramírez, L. G. (1998). “Algunos efectos de la precipitación del huracán Paulina en Acapulco, Guerrero”, *Invest. Geog.*, 7-19.
- Mellor, J. W. (2017). “The subsistence farmer in traditional economies”, *In Subsistence Agriculture & Economic Development* (pp. 209-226). London, Routledge.
- Meyfroidt, P. *et al.* (2018). “Middle-range theories of land system change”, *Global environmental change*, 53: 52-67.
- Mlambo, C. (2022). “Politics and the natural resource curse: Evidence from selected African states”, *Cogent Social Sciences*, 8(1): 2035911.
- Mukhopadhyay, A., Hornby, D. D., Hutton, C. W., Lázár, A. N., Amoako Johnson, F. y Ghosh, T. (2018). “Land cover and land use analysis in coastal Bangladesh”, *Ecosystem services for well-being in deltas: Integrated assessment for policy analysis*, 367-381.
- Mustățea, M. y Pătru-Stupariu, I. (2021). “Using landscape change analysis and stakeholder perspective to identify driving forces of human-wildlife interactions”, *Land*, 10(2): 146.
- Oyedotun, T. D. T., Ruiz-Luna, A. y Navarro-Hernández, A. G. (2018). “Contemporary shoreline changes and consequences at a tropical coastal domain”, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(2): 104-114.

- Paudel, G. S. y Thapa, G. B. (2004). "Impact of social, institutional and ecological factors on land management practices in mountain watersheds of Nepal", *Applied geography*, 24(1): 35-55.
- Pearson, D. y Gorman, J. (2023). "Acknowledging Landscape Connection: Using Sense of Place and Cultural and Customary Landscape Management to Enhance Landscape Ecological Theoretical Frameworks", *Land*, 12(4): 729.
- Pérez-Ruzafa, A., Molina-Cuberos, G. J., García-Oliva, M., Umgiesser, G. y Marcos, C. (2024). "Why coastal lagoons are so productive? Physical bases of fishing productivity in coastal lagoons", *Science of The Total Environment*, 922: 171264.
- Petrosillo, I., Valente, D., Mulder, C., Li, B. L., Jones, K. B. y Zurlini, G. (2021). "The resilient recurrent behavior of mediterranean semi-arid complex adaptive landscapes", *Land*, 10(3): 296.
- Piketty, M. G., Pocard-Chapuis, R., Drigo, I., Coudel, E., Plassin, S., Laurent, F. y Thâles, M. (2015). "Multi-level governance of land use changes in the Brazilian Amazon: Lessons from Paragominas, State of Pará", *Forests*, 6(5): 1516-1536.
- Pinto-Correia, T. y Kristensen, L. (2013). "Linking research to practice: The landscape as the basis for integrating social and ecological perspectives of the rural", *Landscape and Urban Planning*, 120: 248-256.
- Pliening, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T. y Verburg, P. H. (2016). "The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence", *Land use policy*, 57: 204-214.
- Poe, M. R., Norman, K. C. y Levin, P. S. (2014). "Cultural dimensions of socioecological systems: key connections and guiding principles for conservation in coastal environments", *Conservation Letters*, 7(3): 166-175.
- Putra, A., Dewata, I., Hermon, D., Barlian, E. y Umar, G. (2023). "Sustainable development-based coastal management policy development: a literature review", *Journal of sustainability science and management*, 18(1): 238-246.
- Raelin, J. A. (2016). "Imagine There Are No Leaders: Reframing Leadership as Collaborative Agency", *Leadership*, 12(2).
- Reckwitz, A. (2002). "Toward a Theory of Social Practices: A Development in Culturalist Theorizing", *European Journal of Social Theory*, 5(2): 243-263.
- Rieger, A. K. (2023). "Water as a Problem and a Solution in Arid Landscapes: Resilient Practices and Adapted Land Use in the Eastern Marmarica (NW-Egypt) between the 2nd Millennium BCE and the 1st Millennium CE", *Land*, 12: 1109.
- Rizzo, A. y Anfuso, G. (2020). "Coastal dynamic and evolution: Case studies from different sites around the world", *Water*, 12(10): 2829.
- Roy Chowdhury, R. y Turner, B. L. (2006). "Reconciling agency and structure in empirical analysis: smallholder land use in the southern Yucatán, Mexico", *Annals of the Association of American Geographers*, 96(2): 302-322.

- Roysen, R. y Mertens, F. (2019). “New normalities in grassroots innovations: The reconfiguration and normalization of social practices in an ecovillage” *Journal of Cleaner Production*, 236: 117647.
- Sahavacharin, A., Sompongchaiyakul, P. y Thaitakoo, D. (2022). “The effects of land-based change on coastal ecosystems. *Landscape and Ecological Engineering*”, 18(3): 351-366.
- Sakai, Y., Yagi, N. y Sumaila, U. R. (2019). “Fishery subsidies: the interaction between science and policy”, *Fisheries science*, 85: 439-447.
- Salgado Hernández, M. del C. y Ruiz Rivera, N. (2021). “Capacidad comunitaria para el manejo de los recursos naturales en el espacio rural: una revisión de sus componentes causales”, *Sociedad y Ambiente*, 24: 1–31.
- Schatzki, T., (1996). “Social Practices: A Wittgensteinian Approach to Human Activity and the Social”, *Cambridge University Press-Cambridge*, United Kingdom.
- Schatzki, T. (2001). “Introduction: practice theory”, En Schatzki, T. R., Knorr-Cetina, K., & Von Savigny, E. (Eds). *The practice turn in contemporary theory*. London, UK: Psychology Press-Routledge.
- Scott, D. B., Frail-Gauthier, J. y Mudie, P. J. (2014). “Coastal wetlands of the world: geology, ecology, distribution and applications”, Cambridge University Press.
- Shove, E. y Spurling, N. (2013). “Sustainable practices: Social theory and climate change”, *Sustainable Practices*, 1-13.
- Stein, E. D., Gee, E. M., Adams, J. B., Irving, K. y Van Niekerk, L. (2021). “Advancing the science of environmental flow management for protection of temporarily closed estuaries and coastal lagoons”, *Water*, 13(5): 595.
- Sumaila, U. R., Ebrahim, N., Schuhbauer, A., Skerritt, D., Li, Y., Kim, H. S., ... y Pauly, D. (2019). “Updated estimates and analysis of global fisheries subsidies”, *Marine Policy*, 109: 103695.
- Thom, B., Hudson, J. y Dean-Jones, P. (2023). “Estuary contexts and governance models in the new climate era, New South Wales, Australia”, *Frontiers in Environmental Science*, 11: 1127839.
- Toscana A. y Villaseñor A. (2018). “Las tormentas Ingrid y Manuel en La Montaña de Guerrero, 2013. La atención de la emergencia”, *Sociedad y ambiente*, (16): 59-89.
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. y Thies, C. (2005). “Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management”, *Ecology letters*, 8(8): 857-874.
- Tseer, T., Salifu, K. y Yiridomoh, G. Y. (2024). “Land use practices and farmer–herder conflict in Ago-go: dynamics of traditional authority and resistance”, *Third World Quarterly*, 1-18.
- Tubino de Souza, D. (2024). “Unveiling Pathways to Enhance Social Learning Processes in Water Struggles”, *Water*, 16(5): 629.

- Turner, M. G., Gardner, R. H., O'neill, R. V. y O'Neill, R. V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice* (Vol. 401), New York, Springer.
- Villegas, R. I., Oropeza, J., Martínez, M. y Mejía, E. (2009). "Trayectoria y relación lluvia-escurrimiento causados por el huracán Paulina en la cuenca del Río La Sabana, Guerrero, México", *Agrociencia*, 43(4): 345-356
- Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F. y Boissau, A. (2015). "The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: a review", *Agronomy for sustainable development*, 35: 1283-1295.
- Young, O. R. (2011). "Land use, environmental change, and sustainable development: the role of institutional diagnostics", *International Journal of the Commons*, 5(1): 66-85.
- Zhao, L., Fan, X. y He, D. (2021). "Landscape changes and their socio-economic driving factors in coastal zone", *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(5): 4855-4869.
- Zida, W. A., Bationo, B. A. y Waaub, J. P. (2019). "Effects of land-use practices on woody plant cover dynamics in sahelian agrosystems in Burkina Faso since the 1970s–1980s droughts", *Sustainability*, 11(21): 5908.

Respuesta conductual y neurofisiológica al dolor durante la mastitis: eficiencia productiva de rumiantes lecheros, así como su relación con la terapia analgésica, antiinflamatoria y antimicrobiana

Daniel Mota Rojas^{1*}, Marcelo Daniel Ghezzi², Ismael Hernández Avalos³, Adolfo Álvarez Macías¹, Adriana Domínguez Oliva¹, Fabio Napolitano⁴, Pamela Anahí Lendez² y Agustín Orihuela⁵

Resumen. *La mastitis en rumiantes lecheros es un proceso derivado de la colonización de agentes bacterianos en el tejido mamario. Implica dolor asociado a la lesión tisular, evento que genera afectaciones en el desempeño productivo de los animales y cambios de comportamiento como la reducción de la rumia y del nivel de actividad. Así mismo, se ha sugerido que las vacas con mastitis clínica presentan cambios en la expresión facial, lo cual, en conjunto a los indicadores conductuales, puede ayudar a reconocer el padecimiento de dolor agudo. Sin embargo, no es claro si estos indicadores puedan relacionarse con el nivel de dolor que percibe el animal y el grado de severidad de la mastitis. El uso de analgésicos es uno de los tratamientos sugeridos para controlar el dolor de los animales. Su uso en conjunto con antibióticos ayuda a reducir el tiempo de evolución de la enfermedad. Por tal motivo, el objetivo del presente artículo es analizar el efecto que el dolor por mastitis provoca en la respuesta conductual y la eficiencia productiva de rumiantes lecheros, así como su relación con la terapia analgésica, desinflamatoria y antimicrobiana.*

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco. Ciudad de México. México.

² Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Campus Universitario. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CIVETAN, UNCPBA-CICPBA-CONICET. Argentina.

³ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. FESC. UNAM. Estado de México. México.

⁴ Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, 85100 Potenza, Italia.

⁵ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

* Autor de Correspondencia. e-mail: dmota@correo.xoc.uam.mx

Palabras clave: Dolor, Mastitis, Bienestar, Analgésicos, Comportamiento.

Abstract. Mastitis in dairy ruminants is the result of the colonization of bacterial agents in the mammary tissue. It involves pain associated with tissue injury, an event that affects the productive performance of the animals, and behavioral changes such as a reduction in rumination and activity levels. Likewise, it has been suggested that cows with clinical mastitis may have changes in facial expression, which, together with behavioral indicators, may help recognize acute pain. However, it is not clear whether these indicators can be related to the level of pain perceived and the severity of mastitis. The use of analgesics is suggested to manage the pain that animals perceive. Its use in conjunction with antibiotics helps reduce the evolution time of the disease. For this reason, the objective of this article is to analyze the effect that mastitis pain has on the behavioral response and productive efficiency of dairy ruminants, as well as its relationship with analgesic, anti-inflammatory, and antimicrobial therapy.

Keywords: Pain, Mastitis, Animal welfare, Analgesics, Pain-related animal behavior.

INTRODUCCIÓN

La mastitis es un proceso infeccioso e inflamatorio del tejido mamario comúnmente reportado en rumiantes debido a la colonización de agentes bacterianos (e.g., *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*) (Pyorala and Taponen, 2009). En China se reporta una incidencia de mastitis clínica bovina de 21–23%, la cual genera pérdidas económicas de 15–45 billones de dólares al año desde 1982 al 2022 (Mota-Rojas *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2023). En los Estados Unidos, un estudio evaluando la prevalencia de mastitis del 2003 al 2014, en vacas mantenidas en 305 días de lactancia, se reporta una incidencia de 9.1 al 15% de mastitis clínica en ovinos, generando pérdidas por 193 millones de dólares (McDougall *et al.*, 2002; Puerto *et al.*, 2021). De manera general, los efectos que el dolor por mastitis generan en los rumiantes se enfocan a estudiar su influencia en la salud de los animales y en la calidad de la leche; sin embargo, el proceso inflamatorio también repercute en términos productivos, así como en el comportamiento y estado mental de los rumiantes (Short, 1998; Raja *et al.*, 2020).

Entre los cambios conductuales asociados a dolor por mastitis se menciona el descenso de la actividad física y del tiempo de rumia debido al incremento del dolor localizado en el tejido mamario (Herskin *et al.*, 2020; Mainau *et al.*, 2022). Cambios en la expresión facial también han sido asociados al dolor agudo (Gleerup *et al.*, 2015). Además, entre las repercusiones a nivel productivo se ha reportado un descenso en la vida productiva de vacas con mastitis clínica y reducción en la producción láctea cuando los episodios de mastitis son repetidos (Heravi Moussavi *et al.*, 2012). Estos cambios pueden

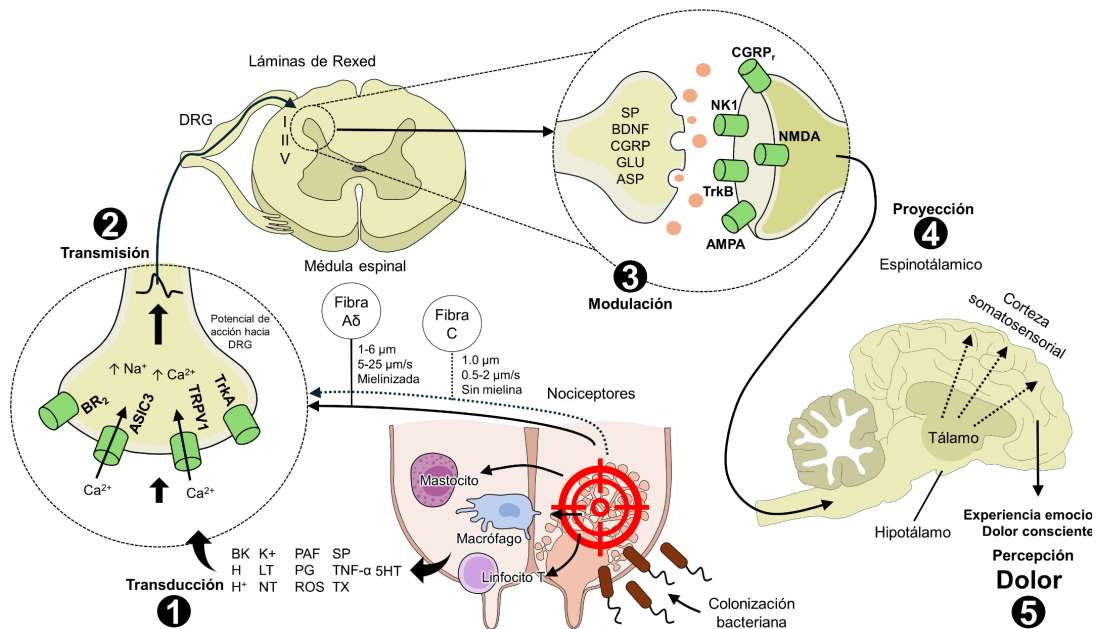
servir como indicadores para reconocer la presencia de un proceso inflamatorio en el tejido mamario. No obstante, la asociación entre estos indicadores y la severidad del proceso clínico de mastitis o el nivel de sensibilidad del dolor en rumiantes no se ha establecido por completo (Steagall *et al.*, 2021).

La percepción de dolor agudo en animales que transcurren bajo un proceso de mastitis debe ser controlada con analgésicos que permitan reducir el estímulo nocivo (Mota-Rojas *et al.*, 2022). Sin embargo, el uso de estos fármacos y su efecto sobre los cambios conductuales, indicadores productivos y salud de los animales aún se encuentra bajo estudio. Por tanto, el objetivo del presente artículo es analizar el efecto que el dolor por mastitis tiene en la respuesta conductual y la eficiencia productiva de rumiantes lecheros, así como su relación con la terapia analgésica, desinflamatoria y antimicrobiana.

Neurobiología del dolor y su relación con la respuesta conductual

Existe una relación entre el dolor provocado por la mastitis y los cambios fisiológicos, endocrinos y conductuales asociados a mastitis. La figura 1 esquematiza el arco nociceptivo que consiste en cinco eventos: transducción, transmisión, modulación, proyección y percepción (Lamont *et al.*, 2000; Mota-Rojas *et al.*, 2016; Bell, 2018; Hernández-Avalos *et al.*, 2019; Mota-Rojas *et al.*, 2022). Desde una perspectiva anatómica, la inervación de la glándula mamaria en rumiantes proviene de los nervios lumbares y sacros para posteriormente ingresar como una fibra preganglionar a la porción blanca de la T12–L5 (Linzell, 1959). Durante el proceso inflamatorio de mastitis, la percepción de los mediadores inflamatorios secretados puede activar el arco nociceptivo.

Figura 1. Neurobiología del dolor durante un evento de mastitis



La colonización bacteriana y la liberación de mediadores proinflamatorios activan y sensibilizan nociceptores: las fibras A δ y C. Estos nociceptores son los encargados de transducir el estímulo doloroso a una señal eléctrica que es transmitida a la asta dorsal de la médula espinal. A nivel espinal, la modulación del estímulo nociceptivo se lleva a cabo con la participación de neurotransmisores excitatorios e inhibitorios. Los neurotransmisores excitatorios se encargan de proyectar la señal eléctrica hacia el tálamo, a través de la vía espinotalámica. A nivel cerebral, el tálamo y sus conexiones con la corteza somatosensorial son necesarias para la percepción consciente del dolor y los cambios fisiológicos y de comportamiento. AMPA: ácido α -amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol propiónico; AP: potencial de acción; ASIC3: canal iónico 3 sensible a los ácidos; ASP: aspartato; BDNF: factor neurotrófico derivado del cerebro; BK: bradisinina; BR2: receptor 2 de bradisinina; CGRP: péptido relacionado con el gen de la calcitonina; CGRP: receptor peptídico relacionado con el gen de la calcitonina; GRD: ganglio del asta dorsal; GLU: glutamato; H⁺: iones de hidrógeno; H: histamina; IL: interleucinas; LT: leucotrienos; NK1: receptor de neuroquinina 1; NMDA: N-metil-D-aspartato; NT: neurotrofinas; PAF: factor activador de plaquetas; PG: prostaglandinas; ROS: radicales libres; SP: sustancia P; TNF: factor de necrosis tumoral; TrkA: receptor quinasa A de tropomiosina; TrkB: quinasa B relacionada con el receptor de tropomiosina; TRPV1: potencial transitorio del receptor vanilloide tipo 1; TX: tromboxanos; 5HT: serotonina.

En la glándula mamaria se ha reportado la existencia de canales de potencial transitorio o TRP (TRPV1, TRPC5 y TRPC7). Asimismo, estudios histológicos del epitelio de la glándula mamaria han encontrado receptores TRPV4, TRPV5 y TRPV6 (VanHouten and Wysolmerski, 2007). Los receptores incrementan su nivel de expresión durante la lactancia para mediar la entrada de Ca^{+2} y permitir la transducción de señales mecánicas, térmicas y osmóticas en diferentes tejidos (Gao *et al.*, 2003; Islam *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022). Durante los procesos de mastitis, algunos estudios han mostrado un incremento en la actividad de los TRPV (Rasmussen *et al.*, 2011). De manera local se produce la liberación secundaria de mediadores inflamatorios como prostaglandinas, interleucinas, citocinas, lípidos y productos de lipooxigenasa (Larson *et al.*, 2019). Estas sustancias inducen cambios bioquímicos que reducen el potencial de acción en las neuronas periféricas y facilitan la transmisión de los estímulos dolorosos que llevan así a los fenómenos de hiperalgesia (Bell, 2018; Kania and Bracha, 2020). Por tanto, la transducción y transmisión de los estímulos nocivos desde la glándula mamaria hacia la médula espinal dan origen a la percepción de dolor durante el proceso de mastitis.

Por otra parte, el procesamiento central del estímulo nociceptivo involucra la integración, procesamiento y reconocimiento de la actividad neuronal en distintas regiones del cerebro (Wiese and Yaksh, 2009). Las sinapsis que parten desde el tálamo a la región basolateral de la amígdala y hacia la corteza somatosensorial son las responsables de los cambios afectivos que involucran alteraciones en el comportamiento o postura corporal (Brooks and Tracey, 2005; Garland, 2012; Corder *et al.*, 2019; Larson *et al.*, 2019).

La explicación fisiológica de la respuesta conductual también está relacionada con la activación de regiones como el sistema reticular activador, el cual permite la transferencia de información desde el tálamo e hipotálamo, además de transferir información a la corteza cerebral. Proyecciones hacia el hipocampo, sistema límbico y *locus coeruleus*, generan las respuestas emocionales y conductuales (Muir, 2009). Aunque se sugiere que la respuesta conductual puede variar en función de la severidad de la condición clínica de la mastitis y según el tipo de patógeno que pueda dar origen a una respuesta con mayor intensidad o mayor duración (Huzzey *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008).

Por consiguiente, la conformación neuronal y sensitiva de la glándula mamaria facilita la producción de la sensación dolorosa en el animal que sufre mastitis en los rumiantes. De igual manera, debido a la participación de regiones como la corteza cerebral, sistema límbico, tálamo, hipotálamo y amígdala es posible la generación de una respuesta motora o conductual para preservar la integridad del organismo del animal que percibe dolor agudo debido a esta condición patológica.

Respuesta conductual durante el dolor agudo ocasionado por mastitis

La mastitis es provocada por la colonización del tejido mamario por agentes bacterianos como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* (Abebe *et al.*, 2016; Ndahetuye *et al.*, 2019; Singha *et al.*, 2021) los cuales inician una respuesta inmune local que desencadena un evento inflamatorio (Gomes *et al.*, 2016; Filor *et al.*, 2022). Esta respuesta induce dolor agudo y, con ello, reacciones posturales que podrían servir como indicadores de la percepción del dolor animal (Hernández-Avalos *et al.*, 2019; Herskin *et al.*, 2020; Gul *et al.*, 2022; Mainau *et al.*, 2022). En este sentido, Glerup (2017) menciona que el dolor es un mecanismo de protección ante la lesión de un tejido. Un ejemplo de esto se observa en animales con laminitis, donde los animales recargan su peso en la extremidad no afectada para evitar la estimulación nociceptiva en la pezuña con inflamación (Olechnowicz and Jaskowski, 2011). En el caso de mastitis en bovinos, el descenso de la actividad y el aislamiento social son cambios de comportamiento que podrían cumplir con esta función debido a que el animal evita la estimulación del tejido mamario por fuerzas físicas o mecánicas. Por tanto, estos indicadores pueden ser usados para el reconocimiento del dolor en esta especie, además de que dichos cambios reflejarían la incomodidad debida al proceso inflamatorio que se sucede en el tejido mamario (Fogsgaard *et al.*, 2015).

Estudios del comportamiento de vacas con mastitis clínica inducida con lipopolisacárido de *E. coli* han sido realizadas por Cyples *et al.* (2012) en 21 vacas lecheras. Los resultados mostraron que, dos días después de la inducción de mastitis, las vacas pasaron menos tiempo descansando (633.3 min/día vs. 707 min/día), sin reportar relaciones entre la disminución del comportamiento con el cuarto afectado. La reducción en el tiempo de descanso refleja la incomodidad generada por mastitis y puede conllevar un efecto negativo en la recuperación de los animales debido a que el descanso es un comportamiento fundamental en esta especie (Coria-Avila *et al.*, 2022).

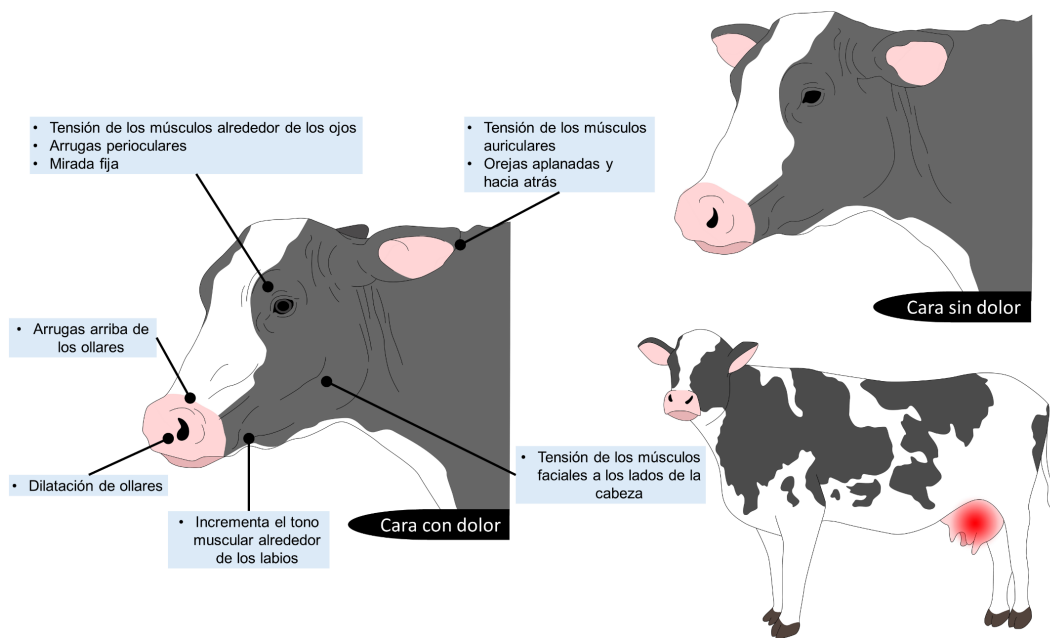
De manera similar, de Boyer des Roches *et al.* (2017) reportaron una disminución significativa en la frecuencia de descanso en seis vacas Holstein-Friesian inoculadas con *E. coli* por vía intramamaria. La reducción en el descanso tuvo asociación con incrementos de cortisol y concentraciones de haptoglobina. Por otra parte, Medrano-Galarza *et al.* (2012) evaluaron los cambios de comportamiento en vacas lecheras con mastitis clínica (n= 14) y sanas (n= 28) recibiendo infusión intramamaria de antibióticos. Aunque el uso de una terapia antibacteriana no influyó en la alteración conductual de los bovinos, se observó que los animales con mastitis pasaron menos tiempo recostados registraron un menor número de pasos y mayor frecuencia de patadas por minuto en comparación con el grupo control. De esta forma, la evaluación del comportamiento permite no sólo identificar alteraciones asociadas al dolor, sino que estos indicadores podrían servir como una forma indirecta de evaluar la efectividad de una terapia farmacológica.

De igual manera, de acuerdo con lo señalado por Antanaitis *et al.* (2022) 10 cows with subclinical mastitis (SCM en 650 vacas lecheras, el tiempo de rumia puede disminuir hasta un 60.9%, así como el consumo de agua y el bolo ruminal (48.4% y 8.6%, respectivamente). A partir de estos hallazgos se puede inferir que al disminuir el tiempo de descanso se afectan otros comportamientos como el alimenticio, lo que generaría un efecto negativo en la productividad.

Los cambios en indicadores de comportamiento derivado de la mastitis sugieren que es posible reconocer el dolor agudo en bovinos. No obstante, a la fecha, no existe una escala de dolor como se ha desarrollado durante otros procesos de dolor como intervenciones quirúrgicas. En este sentido, Tomacheuski *et al.* (2021) realizaron una revisión sistemática sobre el uso de escalas de clasificación del dolor en animales de granja y la construcción de escalas de evaluación del dolor agudo como la UNESP-Botucatu Unidimensional Composite Pain Scale (UCAPS) y la escala de dolor en bovinos. Al evaluar el dolor por orquiectomía en 10 bovinos Nelore y Angus, se encontró una correlación fuerte entre la UCAPS, la escala de dolor bovina, la escala numérica, y la escala visual análoga (0.76–0.78), obteniendo una especificidad y sensibilidad de 81% y 82%, respectivamente (Tomacheuski *et al.*, 2023). Debido a estas observaciones, además de las características de sensibilidad y especificidad se han logrado reproducir en otros experimentos que han llevado a la validación de la UCAPS en bovinos (de Oliveira *et al.*, 2014; della Rocca *et al.*, 2017). Este tipo de escalas también integra cambios en la postura (e.g., posición de la cabeza o la espalda), así como el nivel de alerta de los animales y la expresión facial (Figura 2) (Gleerup *et al.*, 2015; Peters *et al.*, 2015; Ginger *et al.*, 2023). Sin embargo, hasta el momento sólo se han evaluado procesos quirúrgicos y, por tanto, su uso para reconocer el dolor durante eventos de mastitis necesita ser estudiado.

En resumen, la mastitis en el bovino induce cambios en el comportamiento, principalmente en el tiempo de descanso y movilidad. Asimismo, el tiempo de rumia y consumo de alimento suele reducirse a causa de la incomodidad de esta patología. Entonces, es posible reconocer y posiblemente evaluar el grado de dolor que percibe este tipo de animal y las alteraciones que pueden suponer a nivel productivo.

Figura 2. Expresión facial de bovinos con dolor



El estudio del dolor y la asociación de unidades de acción facial ha hecho posible identificar cambios particulares en la expresión facial de los bovinos que experimentan dolor, los cuales se esquematizan en el rostro de la izquierda.

Afectación de la producción de rumiantes lecheros por mastitis

La mastitis y el dolor inherente en este evento modifica el comportamiento de rumiantes e incide en algunos parámetros productivos develando sus efectos en la reducción de la producción total de leche o de la vida productiva de las hembras, como lo reporta Heravi Moussavi *et al.* (2012) en bovinos Holstein con episodios repetidos de mastitis.

En vacas primíparas con mastitis, Puerto *et al.* (2021) reportó pérdidas acumulativas de producción láctea de entre 382 y 989 kg por lactancia, lo que representa pérdidas monetarias aproximadas de 228–722 dólares. Shuster *et al.* (1991) menciona que esto se debe al efecto de las endotoxinas que

generan hipogalactia y suprimen la eyección láctea en un promedio de $33 \pm 5\%$ durante la primera lactancia, y de $17 \pm 3\%$ durante la segunda lactancia. Además, el contenido de grasa y lactosa se redujo en un $27 \pm 8\%$ y $21 \pm 5\%$, respectivamente. De manera similar, se han reportado correlaciones negativas entre el grado de inflamación de la ubre y la producción láctea de vacas lactantes ($r = -0.59$) (Wahyu Harjanti and Sambodho, 2020).

La reducción en la producción láctea también depende del agente etiológico. En este sentido, reducciones de hasta 4.9 kg diarios se han encontrado en casos de mastitis por *Streptococcus* sp., *S. aureus*, *E. coli* y *Klebsiella* (Wilson *et al.*, 2008). De manera similar, en cabras Baladi se detectó que casos de mastitis crónica causadas por *S. aureus*, *Corynebacterium pyogenes*, *Salmonella* spp., y *E. coli* suprimen por completo la eyección de leche en los cuartos afectados. Además, el 30% de los casos no respondieron a tratamientos con antibiótico sistémico e intramamario debido a granulomatosis supurativa en el tejido mamario (Ahmed *et al.*, 2020). En la misma especie (cabras israelitas), casos de mastitis subclínica redujeron significativamente la cantidad de leche producida por ordeño (0.69 kg) en comparación con animales sanos (0.98 kg/ordeña) (Leitner *et al.*, 2004).

La presentación de mastitis clínica también tiene efectos negativos en otros parámetros como las tasas de gestación. Un estudio que evaluó el desempeño reproductivo de vacas con y sin mastitis, encontrando que sólo el 42% y 38% de vacas con mastitis generada por *E. coli* y *Streptococcus* sp., respectivamente, quedaron gestantes. En contraste, el 78% de los animales sin la patología lograron parir (Wilson *et al.*, 2008).

Además, estudios recientes han determinado una asociación entre la predisposición de las hembras a sufrir mastitis cuando provienen de un conteo mensual de células somáticas superior a 800,000 (Sadeghi *et al.*, 2023). Por lo tanto, la identificación y control de mastitis en rumiantes lecheros es relevante no sólo para la salud de las hembras y la afectación de sus parámetros productivos, sino también porque implica repercusiones en la progenie de éstas.

Evaluación del dolor a través de la expresión facial

El estudio del reconocimiento del dolor en animales ha considerado la caracterización de las unidades de acción facial como un indicador relevante (Dawkins and Krebs, 1978; Waller and Micheletta, 2013; Waller *et al.*, 2020). Estas modificaciones yacen de entender que estas especies a menudo no expresan cambios evidentes en el comportamiento (Gleerup *et al.*, 2015; Lezama-García *et al.*, 2019; Mota-Rojas *et al.*, 2020)

La explicación fisiológica del origen de la expresión facial asociada al dolor en los rumiantes surge por la participación de la amígdala, el sistema límbico y mediadores como las catecolaminas y cortisol, los cuales son secretados durante estados aversivos como el dolor, miedo y ansiedad (Salguero-Galland

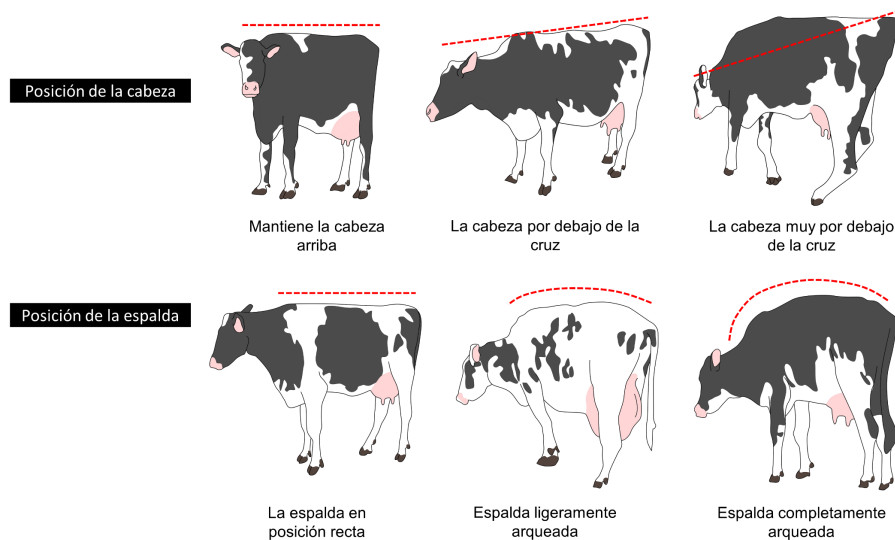
and Panduro, 2001; Afifi and Bergman, 2006). De hecho, la amígdala recibe tanto señales somatosensoriales, auditivas y visuales en el complejo núcleo medial, mismo que responde por las vías aferentes como la estría medial y la vía amígdalo-fungal ventral que tiene conexiones con estructuras como el hipocampo, bulbo olfatorio, hipotálamo, corteza y neocorteza (Purves *et al.*, 2001; Afifi and Bergman, 2006; Xing *et al.*, 2021).

Por ello, la amígdala y sus proyecciones hacia el núcleo accumbens (Berridge and Kringelbach, 2008), gris periacueductual (Jhang *et al.*, 2018), corteza orbitofrontal (Rudebeck and Rich, 2018) y corteza cingulada anterior son indispensables para generar cambios en la expresión facial (Bian *et al.*, 2019). Adicionalmente, las conexiones de la amígdala con las zonas motoras corticales (corteza motora primaria, corteza ventro-lateral premotora y área motora suplementaria) son las encargadas de regular la actividad de los músculos faciales conocidos como músculos miméticos, un subgrupo inervado por el nervio facial identificado como VII par craneal (Morecraft *et al.*, 2001, 2007; Lezama-García *et al.*, 2019). Cabe mencionar que la corteza motora primaria se encarga del control de los músculos faciales inferiores, mientras la corteza motora suplementaria controla la actividad de los músculos faciales superiores mediante el nervio facial (Gothard, 2014). Los cambios faciales autónomos están controlados por el núcleo facial, mientras que los voluntarios están mediados por la corteza motora (Hoffman *et al.*, 2007).

El entendimiento del origen neurobiológico de la expresión facial ha llevado a sugerir que el reconocimiento de estos movimientos puede ser usado como indicadores del dolor agudo en animales como los bovinos (Gleerup, 2017). De acuerdo con lo reportado por Müller *et al.* (Müller *et al.*, 2019) los rumiantes pueden generar diferentes movimientos faciales, denominados unidades de acción facial (AU), tales como movimiento de orejas hacia atrás, dilatación de narinas, apertura de la boca, y levantamiento de cejas (también conocido como tensión orbital).

En el bovino se ha demostrado que estos cambios en la expresión facial pueden ayudar a reconocer el dolor agudo durante prácticas dolorosas como la castración (Gleerup *et al.*, 2015) (Figura 3); sin embargo, no se han detectado estudios que lo hayan empleado en casos de mastitis. En pequeños rumiantes, McLennan *et al.* (2019) estandarizaron una escala de expresión facial en ovinos con mastitis y pioderma, describiendo que los animales enfermos presentaron más cambios en la expresión facial, lo cual se redujo con la administración de analgésicos. Con base a estas observaciones se ha sugerido que posiblemente dichos cambios pueden ayudar a reconocer condiciones como poliartritis o mastitis (Tschoner, 2021). Asimismo, un estudio realizado por Müller *et al.* (2019) evaluó las AU específicas en 35 bovinos de carne Nellore antes y durante el marcado con hierro caliente. Estos autores encontraron que las AU que se presentaron con mayor frecuencia en el bovino con dolor fueron las fosas nasales dilatadas, boca abierta, y tensión orbital, reafirmando la idea de que es posible observar cambios en la expresión facial de bovinos.

Figura 3. Cambios en la postura corporal asociados a dolor en bovinos lecheros



Eventos que generen activación nociceptiva (p. ej., cojeras) generan cambios en la postura que, en conjunto con la expresión facial y el estudio del comportamiento, ayudan a categorizar el nivel de dolor. Entre estos cambios, la posición de la cabeza con respecto al cuerpo y el arqueamiento de la espalda son dos signos comúnmente empleados para el reconocimiento del dolor.

Otros autores como Glerup *et al.* (2015) han desarrollado la escala de dolor de bovinos *Cow Pain Scale*, en la que se consideran seis comportamientos como la posición de la cabeza, posición de orejas, expresión facial, respuesta al acercamiento y la posición del dorso. Al aplicar esta escala en 150 vacas lecheras Holstein con diferentes condiciones dolorosas, con y sin tratamiento analgésico, se encontró que la puntuación de la escala fue tres puntos más elevada que en aquellos animales sin dolor. Además, observó que esta escala presentó una sensibilidad y especificidad del 75%. Un resultado similar se ha documentado por de Oliveira *et al.* (2014), quienes construyeron la Escala multidimensional de dolor de la universidad, la cual fue aplicada en 40 bovinos sujetos a castración quirúrgica. Esta escala considera aspectos como la expresión facial, parámetros fisiológicos y misceláneos. Los resultados mostraron que la puntuación obtenida tuvo una fuerte correlación positiva con la puntuación obtenida en la Escala análoga visual ($r= 0.84$), la Escala descriptiva ($r= 0.83$) y la numérica ($r= 0.85$). Adicional-

mente se encontró que los puntajes en la escala disminuyeron con el tratamiento analgésico. De esta forma, dicha evidencia muestra que el reconocimiento de las expresiones faciales durante eventos de dolor agudo ayuda a incrementar la sensibilidad de las escalas de evaluación e, incluso, se ha llegado a sugerir el uso de esta herramienta en conjunto con tecnologías de reconocimiento artificial (McLennan and Mahmoud, 2019). Actualmente, tecnologías de inteligencia artificial están siendo empleadas para reconocer de manera automatizada los cambios en la expresión facial asociada al dolor (Neethirajan, 2021). Ejemplo de esto son los estudios realizados por Lencioni *et al.* (2021) en caballos después de la castración y en ovejas con mastitis y laminitis (McLennan y Mahmoud, 2021).

Por tanto, aunque no existen estudios evaluando el efecto del dolor por mastitis en la expresión facial de bovinos, la activación el arco nociceptivo y la participación de la amígdala y zonas corticales sugieren que la expresión facial puede ser útil para reconocer el dolor.

Terapéutica de la mastitis

La mastitis clínica o subclínica es transmitida por vía transversal (contacto de vaca a vaca en fomites) durante el ordeño (Royster and Wagner, 2015). Las bacterias coliformes son los principales agentes involucrados en la mastitis (incidencia del 24%), mientras que los estreptococos no agalactiae y los estafilococos coagulasa negativos representan incidencias de 14% y 9%, respectivamente (Schukken *et al.*, 2011, 2013). Dado que la colonización de bacterias puede ser el agente primario, el tratamiento oportuno con antibióticos es parte clave del plan de manejo para la mastitis (Roberson, 2012).

Antibioterapia

Los antibióticos reducen o eliminan el crecimiento de los agentes infecciosos (Hossain *et al.*, 2017; Ruegg, 2022). De acuerdo con Tomazi *et al.* (2020)(b, la incidencia del uso de antimicrobianos en casos de mastitis bovina es de 21.9 dosis diaria definida (DDD) por cada 1,000 días en lactancia. Los fármacos intramamarios más empleados fueron los aminoglucósidos (11.7 DDD), seguido del uso en conjunto de la tetraciclina, aminoglucósidos y polipéptidos (10.3 DDD). Por otra parte, los fármacos sistémicos más empleados fueron: fluoroquinolonas (6.1 DDD), penicilina (3.9 DDD) y la combinación de sulfonamida y piridimina (3.6 DDD). El cuadro 1 muestra la tasa de curación de diferentes antibióticos usados.

Cuadro 1. Evidencia de la tasa del ritmo de curación de antibióticos usados en bovinos con mastitis clínica

Antibiótico	Dosis	Vía de administración	Agente patógeno	Tasa Curación (%)	Referencia
Amoxicilina Eritromicina Cloxacilina Pirmilicina	-	IM	<i>Streptococcus agalactiae</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	82 76 73 44	(Wilson <i>et al.</i> , 1999)
Cloxacilina	200 mg/kg/48 h	IMm	<i>Staphylococcus aureus</i>	6.2–80.6	(McDougall <i>et al.</i> , 2022)000 cells/mL
Enrofloxacin	5 mg/ kg dos veces	IV	<i>Escherichia coli</i>	46.7–57.1	(Suojala <i>et al.</i> , 2010)
Enrofloxacin clorhidrato-dihidrato Ceftiofur HCl	-	IMm	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Streptococcus uberis</i> <i>Corynebacterium bovis</i>	65–100	(Alfonseca-Silva <i>et al.</i> , 2021)
Ceftiofur	125 mg/kg	IMm	<i>Staphylococcus aureus</i>	42–87	(Truchetti <i>et al.</i> , 2014)
Pirlimicina	50 mg/kg	IMm	<i>Streptococcus spp.</i> <i>Staphylococcus aureus</i>	44.4–95	(Gillespie <i>et al.</i> , 2002)
Cefazolina Enrofloxacin Orbofloxacin	5 mg/ kg	IM, IV	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Escherichia coli</i>	52.8–86	(Sugiyama <i>et al.</i> , 2022)
Lactoferrina bovina Penicilina G	1.5 g 100, 000 UI	IMm	<i>Staphylococcus aureus</i>	45.5	(Petitclerc <i>et al.</i> , 2007)

IM: intramuscular; IV: intravenoso; IMm: intramamaria; UI: unidades internacionales.

La elección de la vía de administración (sistémica o intramamaria) depende de la severidad del cuadro de mastitis (mastitis clínica no complicada o complicada requiere tratamiento sistémico) (Roberson, 2012). La efectividad de la terapia sistémica depende de la concentración plasmática de los fármacos para traspasar la barrera sangre-leche. Por ejemplo, si el agente es sensible a la penicilina, se recomiendan dosis de 16,500 UI/kg, o 10 mg/ kg IV de oxitetraciclina, eritromicina a 12.5 mg/kg. Sin embargo, factores como el número de cuartos afectados, el historial de mastitis, el recuento de células somáticas, el aislamiento bacteriano y la sensibilidad *in vitro* e *in vivo* pueden limitar la efectividad de la terapia sistémica (MacDiarmid, 1978; Degen *et al.*, 2015).

Al comparar la efectividad de la administración IM de hidioduro de penetamato y la administración por intramamaria de ampicilina/cloxacilina en bovinos lactantes con diagnóstico de mastitis

clínica, Sérieys *et al.* (2005) reportó que la administración sistémica redujo el conteo de células somáticas a menos de 250,000 células/mL en comparación con el tratamiento local. De igual forma, Pyörälä y Pyörälä (1998) evaluaron la eficacia de la administración parenteral de penicilina G, espiramicina o enrofloxacin en 487 bovinos con mastitis. Ellos encontraron que la tasa de curación para *S. aureus*, estafilococos coagulasa negativo y estreptococos fue del 34%, 76% y 65%, respectivamente. Además, se observó que la mastitis causada por *E. coli* presentó una tasa de curación del 74% en animales tratados con penicilina G, mientras que en los no tratados fue del 71%. A pesar de estos resultados, se muestra de forma clara que la administración de antibióticos contribuye al tratamiento de la mastitis pero que es importante considerar el agente causal, el cuadro clínico e incluso las estrategias preventivas adoptadas en las unidades de producción.

Por consiguiente, el uso de antibióticos es parte fundamental para el control del crecimiento bacteriano en el tejido mamario afectado durante el proceso de mastitis clínica. Aunque el uso de estos fármacos promueve la curación, un tratamiento integral debería considerar la adición de fármacos que permitan reducir y manejar el dolor con el fin de aumentar la efectividad del tratamiento.

Analgésicos no esteroideos (NSAID)

Estos fármacos se consideran claves dentro del tratamiento de la mastitis debido a que el crecimiento bacteriano y la presencia de sustancias inflamatorias como el lipopolisacárido generan una reacción inflamatoria local debido a la quimiotaxis de células inmunes como los neutrófilos que liberan citocinas, interleucina (IL)-1, IL-10, factor de necrosis tumoral- α y prostaglandinas (Pyörälä, 2003; McDougall *et al.*, 2015). El uso de este tipo de analgésicos también busca prevenir la sensibilización periférica y central en el arco nociceptivo (Hernández-Avalos *et al.*, 2020).

Al respecto de su uso, Shock *et al.* (2018) evaluaron el efecto de la administración de una dosis única de meloxicam oral sobre el nivel productivo y el estado de salud en 1,009 vacas. Se identificó que los animales tratados produjeron 0.64 kg más leche al día en comparación con los animales control. También se reportó que la probabilidad de tener mastitis clínica fue 0.75 veces menor en comparación con el grupo control. En otro estudio similar, Fitzpatrick *et al.* (2013) evaluaron el efecto del meloxicam sobre la sensibilidad al dolor y el tiempo de rumia en 12 vacas lecheras con mastitis clínica inducida con lipopolisacáridos (LPS) de *E. coli*. Estos investigadores observaron que el tiempo de rumia no presentó cambios en los animales. No obstante, el meloxicam redujo el edema de la ubre y la temperatura corporal posterior a la infusión del LPS en comparación con los animales control. Esto indicaría de forma clara que estos analgésicos permiten controlar la respuesta inflamatoria local, además del dolor y los efectos clínicos de este signo, lo cual ayuda a modular e incluso a disminuir los cambios de comportamiento, lo que representa una mayor ventaja en comparación con el uso de antibióticos.

McDougall *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la adición del meloxicam a la terapia antimicrobiana (cefalexina y kanamicina) en 509 bovinos lecheros con mastitis clínica. Observaron que la tasa de curación bacteriológica fue mayor en los animales que recibieron meloxicam, aunque no se observó efecto en el conteo de células somáticas o la proporción de glándulas de las que no se aislaron bacterias. Asimismo, en un estudio adicional realizado por este mismo grupo de investigación se observó que la adición de meloxicam redujo el número de animales enfermos al combinar una terapia antibacteriana con analgésicos (+meloxicam= 16.4% vs. control= 28.2%) así como el número de células somáticas en el cuarto afectado (+meloxicam= 550 ± 48 vs. control= 711 ± 62) (McDougall *et al.*, 2009).

Otros analgésicos no esteroideos (NSAID) que se han empleado y se sugieren con un efecto similar al meloxicam son la flunixin meglumina. Este analgésico ha mostrado reducir el proceso inflamatorio provocado por la infusión intramamaria de LPS y, además, incrementa el tiempo de rumia en los animales (Chapinal *et al.*, 2014). De igual forma, al comparar las temperaturas superficiales de los cuartos afectados con mastitis, se encontró que los animales que recibieron flunixin meglumina tuvieron temperaturas de la ubre bajas en comparación con los animales control (Anderson *et al.*, 1986) evaluando el efecto antipirético y antiinflamatorio del flunixin meglumina en 16 bovinos Holstein con mastitis clínica inducida con coliformes, determinó un incremento en el potencial antioxidante y el tratamiento no redujo los niveles de especies reactivas de oxígeno, aunque se aminoraron los niveles de algunos subproductos como el 5-isoprostano- 2α y 8-isoprostano- 2α , indicativos de una mejora del estado oxidativo. Por ello, implementar el uso de flunixin meglumina en el tratamiento de rumiantes con mastitis requiere investigaciones futuras (Wagner *et al.*, 2021).

El carprofeno es otro analgésico que se ha sugerido para el tratamiento de mastitis. Krömker *et al.* (2011) evaluaron la eficacia del uso combinado de carprofeno y un antibiótico local en 69 vacas de 3 hatos lecheros con diagnóstico de mastitis clínica. Observaron que el uso de carprofeno causó 3% menos casos de reinfecciones. Además, se constató que la producción de leche fue significativamente mayor con el uso del analgésico. De manera similar, Vangroenweghe *et al.* (2005) observaron que el tratamiento con carprofeno disminuyó la producción de prostaglandina E2 y tromboxano B2 en leche, lo cual se asocia a la inhibición del COX-2 para interrumpir la cascada inflamatoria.

Con el ketoprofeno, Latosinski *et al.* (2020) evaluaron su eficacia como tratamiento para la mastitis clínica en tres hatos de vacas Holstein. El cociente de curación clínica fue del 83.08%, mientras que el porcentaje de recaída y recurrencia de mastitis clínica fue de 19.23% y 17.21%, respectivamente, sin reportar diferencias significativas en el recuento de célula somáticas. En cambio Shpigel *et al.* (1994) informaron que la adición de 2 g de ketoprofeno con 20 g de sulfadiazina y 4 g de trimetoprim incrementó la tasa de recuperación en un 11% en comparación con el grupo placebo. Debido a ello, los autores sugieren que el ketoprofeno mejora la recuperación de la mastitis clínica en bovinos. Cabe resaltar que los resultados contrastantes en la tasa de recuperación podrían explicarse por factores que afectan la eficacia del fármaco como la dosis y la selectividad hacia el COX-2. De forma similar, en una investigación se

comparó la eficacia de la fenilbutazona y la dipirona como tratamiento para mastitis aguda, resultando que la tasa de recuperación fue similar en ambos tratamientos, apareciendo los dos como una terapia analgésica eficaz en animales con mastitis (Shpigel *et al.*, 1996). Sin embargo, se ha revelado que el rango terapéutico y la presencia de efectos tóxicos es común en el bovino con mastitis clínica (Dascanio *et al.*, 1995). En consecuencia, este hecho reafirma la necesidad de determinar el rango terapéutico y la eficacia clínica de los analgésicos como tratamiento de la mastitis clínica en bovinos lecheros.

Mansion-de Vries *et al.* (2015) sostienen que una terapia efectiva contra la mastitis clínica debe considerar además de antibióticos, el uso de NSAID, con la finalidad de controlar el proceso inflamatorio local y el dolor agudo que provoca la presencia de citocinas proinflamatorias (p.ej., interleucinas o prostaglandinas) (Hillerton and Semmens, 1999; Pyörälä, 2003; Ruegg, 2018). No obstante, el uso de analgésicos en bovinos lecheros es limitado (Thomsen *et al.*, 2012), tal como lo menciona Browne *et al.* (2022) en una encuesta aplicada a 116 veterinarios ganaderos. En dicha encuesta se encontró que el uso de analgésicos asociado a patologías como la mastitis fue bajo, lo cual puede ser una de las limitaciones sobre el uso de los analgésicos. Entre los factores identificados en el estudio destacó la falta de capacitación acerca del uso de analgésicos y el costo de los fármacos.

Finalmente, es necesario poner de relieve que la nanotecnología se ha sugerido como un método para mejorar la eficacia tanto del tratamiento analgésico como antibiótico. Por ejemplo, Jyothi *et al.* (2022) han propuesto el uso de nanopartículas lipídicas en hidrogel de meloxicam para mejorar la penetración y la vida media del fármaco. De igual forma, El-Aziz *et al.* (2021) informaron que el uso de un antibiofilm de aceite de canela y de nanopartículas de plata tiene un alto potencial antimicrobiano contra *Staphylococcus agalactiae*, uno de los principales agente involucrados en mastitis.

Por consiguiente, los NSAID's son fármacos que han demostrado ser efectivos en controlar el dolor agudo e inflamación provocado por la mastitis. No obstante, se ha cuestionado la efectividad de los diferentes NSAID debido al nivel de selectividad sobre la sustancia que debe ser considerada para la elección del tratamiento.

Perspectivas

Los estudios sobre mastitis en bovinos lecheros han mostrado que esta afección induce dolor agudo; sin embargo, aún existen vacíos importantes en la investigación que deben ser atendidos como la relación entre los cambios de comportamiento y posturales que pueden ayudar a diagnosticar el nivel de dolor para seleccionar una acción terapéutica. Debido a ello, es necesario el desarrollo de escalas clínicas que permitan categorizar el nivel de dolor agudo que perciban este tipo de animales con la finalidad de determinar el punto de intervención analgésica como se ha observado en otras especies (Hernández-Avalos *et al.*, 2019).

La expresión facial es otra variable que no se ha evaluado suficientemente en bovinos (Gleerup *et al.*, 2015; Gleerup, 2017). Aunque se han reconocido cambios en la expresión facial de rumiantes, su asociación con mastitis y otros procesos inflamatorios requiere de estudios en el futuro. Adicionalmente, la evaluación del dolor en animales de granja requiere el reconocimiento del mismo por personal capacitado. Diversos estudios han mostrado que el reconocimiento del dolor depende de la experiencia del evaluador, de su conocimiento sobre la especie, e inclusive del sexo del trabajador (p. ej., las mujeres suelen otorgar mayores puntajes en las escalas de dolor) (Kielland *et al.*, 2009; Shi *et al.*, 2022). Por ello, ofrecer asesorías a los médicos veterinarios encargados de bovinos lecheros podría ser una herramienta que ayude a mejorar la identificación de cambios de comportamientos o fisiológicos asociados a mastitis.

En cuanto al tratamiento, el uso de antibióticos junto con analgésicos mejora la efectividad de ambos (Hossain *et al.*, 2017; McDougall *et al.*, 2022). Sin embargo, es necesario realizar investigación enfocada en el uso de esta combinación que puedan ayudar a reducir el dolor agudo, además de controlar el proceso infeccioso, lo que podría reducir el tiempo de recuperación clínica e infecciosa en comparación con el uso individual de los diferentes fármacos.

CONCLUSIONES

La mastitis es un evento clínico que debido a la fisiopatología de la enfermedad y a las características neuro-anatómicas de la glándula mamaria, involucra la percepción de dolor agudo. La expresión clínica de este signo en rumiantes se puede reconocer mediante los cambios de comportamiento, como se ha documentado en este trabajo, con la reducción del interés por el entorno aunado a una menor actividad física, apetito, rumia y tiempo de descanso que deriva en menor ganancia de peso. Entre otros cambios observados, destaca la modificación de postura, presencia de cojeras y pelo áspero en conjunto con taquipnea y rechino de dientes. Todos estos signos en conjunto pueden ser usados como indicadores específicos de la percepción de dolor durante la mastitis. El uso conjunto de estos indicadores con la expresión facial asociada al dolor agudo podría incrementar la posibilidad de reconocerlo de forma más oportuna.

Por otro lado, la terapia de la mastitis está enfocada al uso de antibióticos que reducen el crecimiento bacteriano; sin embargo, es necesario reconocer que estos fármacos solo ayudarán a controlar el proceso infeccioso, pero no a mitigar el dolor. Por ello es necesario considerar el uso de analgésicos como los NSAID que permiten tanto reducir el proceso inflamatorio como controlar el dolor severo, contribuyendo a disminuir el tiempo de recuperación e incrementar la posibilidad de cura clínica en los animales afectados.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Aziz, N. K., Ammar, A. M., El-Naenaey, E. Y. M., El Damaty, H. M., Elazazy, A. A., Hefny, A. A., *et al.*, 2021, “Antimicrobial and antibiofilm potentials of cinnamon oil and silver nanoparticles against *Streptococcus agalactiae* isolated from bovine mastitis: new avenues for countering resistance”, *BMC Veterinary Research*, 17:136. doi: 10.1186/s12917-021-02842-9.
- Abebe, R., Hatiya, H., Abera, M., Megersa, B., y Asmare, K. 2016, “Bovine mastitis: prevalence, risk factors and isolation of *Staphylococcus aureus* in dairy herds at Hawassa milk shed, South Ethiopia”, *BMC Veterinary Research*, 12:270. doi: 10.1186/s12917-016-0905-3.
- Affi, A., y Bergman, R., 2006, *Functional Neuroanatomy*, McGrawHill, USA.
- Ahmed, Y., Ezzo, O. H., y Mansour, S., 2020, “Some Udder Problems associated with productivity in Goats”, *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 51:1–9. doi: 10.21608/ejvs.2019.13869.1087.
- Alfonseca-Silva, E., Cruz-Villa, J. C., Gutiérrez, L., and Sumano, H., 2021, “Successful treatment of recurrent subclinical mastitis in cows caused by enrofloxacin resistant bacteria by means of the sequential intramammary infusion of enrofloxacin HCl-2H₂O and ceftiofur HCl: a clinical trial”, *Journal of Veterinary Science*, 22:e78. doi: 10.4142/jvs.2021.22.e78.
- Anderson, K. L., Smith, A. R., Shanks, R. D., Davis, L. E., y Gustafsson, B. K., 1986, “Efficacy of flunixin meglumine for the treatment of endotoxin-induced bovine mastitis”, *American Journal of Veterinary Research*, 47:1366–1372.
- Antanaitis, R., Juozaitienė, V., Malašauskienė, D., Televičius, M., Urbutis, M., Rutkauskas, A., *et al.*, 2022, “Identification of Changes in Rumination Behavior Registered with an Online Sensor System in Cows with Subclinical Mastitis”, *Veterinary Sciences*, 9:454. doi: 10.3390/vetsci9090454.
- Bell, A., 2018, “The neurobiology of acute pain”, *The Veterinary Journal* 237:55–62.
- Berridge, K., y Kringelbach, M., 2008, “Affective neuroscience of pleasure: Reward in humans and animals”, *Psychopharmacology*, 199:457–480.
- Bian, X., Qin, C., Cai, C., y Zhou, Y., 2019, “Anterior cingulate cortex to ventral hippocampus circuit mediates contextual fear generalization”, *Journal of Neuroscience*, 39:5728–5739.
- Brooks, J., y Tracey, I., 2005, “REVIEW: From nociception to pain perception: imaging the spinal and supraspinal pathways”, *Journal of Anatomy*, 207:19–33. doi: 10.1111/j.1469-7580.2005.00428.x.
- Browne, N., Conneely, M., y Hudson, C., 2022, “Use of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs and Attitudes to Pain in Pasture-Based Dairy Cows: A Comparative Study of Farmers and Veterinarians”, *Frontiers in Veterinary Science*, 9:912564. doi: 10.3389/fvets.2022.912564.
- Chapinal, N., Fitzpatrick, C. E., Leslie, K. E., y Wagner, S. A., 2014, “Short Communication: Automated assessment of the effect of flunixin meglumine on rumination in dairy cows with endotoxin-induced mastitis”, *Canadian Journal of Animal Science*, 94:21–25. doi: 10.4141/cjas2013-071.

- Chen, S., Zhang, H., Zhai, J., Wang, H., Chen, X., y Qi, Y., 2023, “Prevalence of clinical mastitis and its associated risk factors among dairy cattle in mainland China during 1982–2022: a systematic review and meta-analysis”, *Frontiers in Veterinary Science*, 10:1185995. doi: 10.3389/fvets.2023.1185995.
- Corder, G., Ahanonu, B., Grewe, B. F., Wang, D., Schnitzer, M. J., y Scherrer, G., 2019, “An amygdalar neural ensemble that encodes the unpleasantness of pain”, *Science*, 363:276–281. doi: 10.1126/science.aap8586.
- Coria-Avila, G. A., Pfaus, J. G., Orihuela, A., Domínguez-Oliva, A., José-Pérez, N., Hernández, L. A., *et al.*, 2022, “The Neurobiology of Behavior and Its Applicability for Animal Welfare: A Review”, *Animals*, 12:928. doi: 10.3390/ani12070928.
- Cyples, J. A., Fitzpatrick, C. E., Leslie, K. E., DeVries, T. J., Haley, D. B., y Chapinal, N., 2012, “Short communication: The effects of experimentally induced *Escherichia coli* clinical mastitis on lying behavior of dairy cows”, *Journal of Dairy Science*, 95:2571–2575. doi: 10.3168/jds.2011-5135.
- Dascanio, J. J., Mechor, G. D., Gröhn, Y. T., Kenney, D. G., Booker, C. A., Thompson, P., *et al.*, 1995, “Effect of phenylbutazone and flunixin meglumine on acute toxic mastitis in dairy cows”, *American Journal of Veterinary Research*, 56:1213–8.
- Dawkins, R., y Krebs, J. R., 1978, “Animal signals: information or manipulation?,” en Krebs, J. R., y Davies, N. B., (eds.), *Behavioural Ecology: An Evolutionary Approach*, Blackwell Scientific Publications, Londres, 282–309.
- de Boyer des Roches, A., Faure, M., Lussert, A., Herry, V., Rainard, P., Durand, D., *et al.*, 2017, “Behavioral and patho-physiological response as possible signs of pain in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis: A pilot study”, *Journal of Dairy Science*, 100:8385–8397. doi: 10.3168/jds.2017-12796.
- de Oliveira, F. A., Luna, S. P. L., do Amaral, J. B., Rodrigues, K. A., Sant’Anna, A. C., Daolio, M., *et al.*, 2014, “Validation of the UNESP-Botucatu unidimensional composite pain scale for assessing postoperative pain in cattle”, *BMC Veterinary Research*, 10:200. doi: 10.1186/s12917-014-0200-0.
- Degen, S., Paduch, J.-H., Hoedemaker, M., y Krömker, V., 2015, “Einflussfaktoren auf die bakteriologische Heilung boviner Mastitiden”, *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere / Nutztiere*, 43:222–227. doi: 10.15653/TPG-141082.
- della Rocca, G., Brondani, J. T., de Oliveira, F. A., Crociati, M., Sylla, L., Elad Ngonput, A., *et al.*, 2017, “Validation of the Italian version of the UNESP–Botucatu unidimensional composite pain scale for the assessment of postoperative pain in cattle”, *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 44:1253–1261. doi: 10.1016/j.vaa.2016.11.008.

- Filor, V., Seeger, B., de Buhr, N., von Köckritz-Blickwede, M., Kietzmann, M., Oltmanns, H., *et al.*, 2022), “Investigation of the pathophysiology of bacterial mastitis using precision-cut bovine udder slices”, *Journal of Dairy Science*, 105:7705–7718. doi: 10.3168/jds.2021-21533.
- Fitzpatrick, C. E., Chapinal, N., Petersson-Wolfe, C. S., DeVries, T. J., Kelton, D. F., Duffield, T. F., *et al.*, 2013, “The effect of meloxicam on pain sensitivity, rumination time, and clinical signs in dairy cows with endotoxin-induced clinical mastitis”, *Journal of Dairy Science*, 96:2847–2856. doi: 10.3168/jds.2012-5855.
- Fogsgaard, K. K., Bennedsgaard, T. W., y Herskin, M. S., 2015, “Behavioral changes in freestall-housed dairy cows with naturally occurring clinical mastitis”, *Journal of Dairy Science*, 98:1730–1738. doi: 10.3168/jds.2014-8347.
- Gao, X., Wu, L., y O’Neil, R. G., 2003, “Temperature-modulated Diversity of TRPV4 Channel Gating”, *Journal of Biological Chemistry*, 278:27129–27137. doi: 10.1074/jbc.M302517200.
- Garland, E. L., 2012, “Pain Processing in the Human Nervous System”, *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 39:561–571. doi: 10.1016/j.pop.2012.06.013.
- Gillespie, B. E., Moorehead, H., Lunn, P., Dowlen, H. H., Johnson, D. L., Lamar, K. C., *et al.*, 2002, “Efficacy of extended pirlimycin hydrochloride therapy for treatment of environmental *Streptococcus* spp and *Staphylococcus aureus* intramammary infections in lactating dairy cows”, *Veterinary Therapeutics*, 3:373–80.
- Ginger, L., Aubé, L., Ledoux, D., Borot, M., David, C., Bouchon, M., *et al.*, 2023, “A six-step process to explore facial expressions performances to detect pain in dairy cows with lipopolysaccharide-induced clinical mastitis”, *Applied Animal Behaviour Science*, 264:105951. doi: 10.1016/j.applanim.2023.105951.
- Gleerup, K. B., 2017, “Identifying Pain Behaviors in Dairy Cattle Functions and Effects of Pain”, *Advances in Dairy Technologies*, 29:231–239.
- Gleerup, K. B., Andersen, P. H., Munksgaard, L., y Forkman, B., 2015, “Pain evaluation in dairy cattle”, *Applied Animal Behaviour Science*, 171:25–32. doi: 10.1016/j.applanim.2015.08.023.
- Gomes, F., Saavedra, M. J., y Henriques, M., 2016, “Bovine mastitis disease/pathogenicity: evidence of the potential role of microbial biofilms”, *Pathogens and Disease*, 74:ftw006. doi: 10.1093/femspd/ftw006.
- González, L. A., Tolkamp, B. J., Coffey, M. P., Ferret, A., y Kyriazakis, I., 2008, “Changes in Feeding Behavior as Possible Indicators for the Automatic Monitoring of Health Disorders in Dairy Cows”, *Journal of Dairy Science*, 91:1017–1028. doi: 10.3168/jds.2007-0530.
- Gothard, K. M., 2014, “The amygdalo-motor pathways and the control of facial expressions”, *Frontiers in Neuroscience*, 8:43. doi: 10.3389/fnins.2014.00043.
- Gul, R. A., Abbas, F., Jawad, H., Anjum, H., Ijaz, M., Waseem, M., *et al.*, 2022, “Effect of Mastitis on Behavioral Changes of Dairy Cows, its Treatment and Control”, *Acta Scientifica Veterinary Sciences*, 10:33–38. doi: 10.31080/ASVS.2022.04.0405.

- Heravi Moussavi, A., Danesh Mesgaran, M., y Gilbert, R. O., 2012, "Effect of mastitis during the first lactation on production and reproduction performance of Holstein cows", *Tropical Animal Health and Production*, 44:1567–1573. doi: 10.1007/s11250-012-0107-3.
- Hernández-Avalos, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Martínez-Burnes, J., Casas Alvarado, A., Verduzco-Mendoza, A., *et al.*, 2019, "Review of different methods used for clinical recognition and assessment of pain in dogs and cats", *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 7:43–54. doi: 10.1080/23144599.2019.1680044.
- Hernández-Avalos, I., Valverde, A., Ibancovich-Camarillo, J. A., Sánchez-Aparicio, P., Recillas-Morales, S., Osorio-Avalos, J., *et al.*, 2020, "Clinical evaluation of postoperative analgesia, cardiorespiratory parameters and changes in liver and renal function tests of paracetamol compared to meloxicam and carprofen in dogs undergoing ovariohysterectomy", *PLOS ONE*, 15:e0223697. doi: 10.1371/journal.pone.0223697.
- Herskin, M. S., Fogsgaard, K. K., Thomsen, P. T., Houe, H., Forkman, B., y Jensen, M. B., 2020, "Dairy cows with mild-moderate mastitis change lying behavior in hospital pens", *Translational Animal Science*, 4:1247–1251. doi: 10.1093/tas/txaa038.
- Hillerton, J. E., y Semmens, J. E., 1999, "Comparison of Treatment of Mastitis by Oxytocin or Antibiotics Following Detection According to Changes in Milk Electrical Conductivity Prior to Visible Signs", *Journal of Dairy Science*, 82:93–98. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75213-6.
- Hoffman, K., Gothard, K., aynd Schmid, M., 2007, "Facial-Expression and gaze-selective responses in the monkey amygdale", *Current Biology*, 17:766–72.
- Hossain, M. K., Paul, S., Hossain, N. M., Islam, M. R., y Alam, M. G. S., 2017, "Bovine Mastitis and Its Therapeutic Strategy Doing Antibiotic Sensitivity Test", *Austin Journal of Veterinary Science & Animal Husbandry*, 4:1–12. doi: 10.26420/austinjvetscianimhusb.2017.1030.
- Huzzey, J. M., Veira, D. M., Weary, D. M., y von Keyserlingk, M. A. G., 2007, "Prepartum Behavior and Dry Matter Intake Identify Dairy Cows at Risk for Metritis", *Journal of Dairy Science*, 90:3220–3233. doi: 10.3168/jds.2006-807.
- Islam, M. A., Mizusawa, M., Sharmin, M. M., Hayashi, S., y Yonekura, S., 2020, "TRPV4 Increases the Expression of Tight Junction Protein-Encoding Genes via XBP1 in Mammary Epithelial Cells", *Animals*, 10:1174. doi: 10.3390/ani10071174.
- Jhang, J., Lee, H. H. H.-S., Kang, M. M. S., Lee, H. H. H.-S., Park, H., y Han, J.-H., 2018, "Anterior cingulate cortex and its input to the basolateral amygdala control innate fear response", *Nature Communication*, 9:2744. doi: 10.1038/s41467-018-05090-y.
- Jyothi, V. S. S. S., Babu, C., Kumar, R., Singh, P., Khatri, D., Singh, S., *et al.*, 2022, "Meloxicam in combating clinical mastitis: Nanotechnology-driven hope and opportunities", *Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences*, 14:121. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_649_21.

- Kania, B. F., y Bracha, U., 2020, “The Neuropathic Pain in Animals”, *Journal of Animal Husbandry and Dairy Science*, 4:4–10.
- Kielland, C., Skjerve, E., y Zanella, A. J., 2009, “Attitudes of veterinary students to pain in cattle”, *Veterinary Record*, 165:254–258. doi: 10.1136/vr.165.9.254.
- Krömker, V., Paduch, J.-H., Abograra, I., Zinke, C., y Friedrich, J., 2011, “Effects of an additional nonsteroidal anti-inflammatory therapy with carprofen (Rimadyl Rind) in cases of severe mastitis of high yielding cows”, *Berliner und Munchener tierärztliche Wochenschrift*, 124:161–7.
- Lamont, L. A., Tranquilli, W. J., y Grimm, K. A., 2000, “Physiology of Pain”, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 30:703–728. doi: 10.1016/S0195-5616(08)70003-2.
- Larson, C. M., Wilcox, G. L., y Fairbanks, C. A., 2019, “The Study of Pain in Rats and Mice”, *Comparative Medicine*, 69:555–570. doi: 10.30802/AALAS-CM-19-000062.
- Latosinski, G. S., Amzalak, M. J., y Pantoja, J. C. F., 2020, “Efficacy of ketoprofen for treatment of spontaneous, culture-negative, mild cases of clinical mastitis: A randomized, controlled superiority trial”, *Journal of Dairy Science*, 103:2624–2635. doi: 10.3168/jds.2019-17504.
- Leitner, G., Merin, U., y Silanikove, N., 2004, “Changes in Milk Composition as Affected by Sub-clinical Mastitis in Goats”, *Journal of Dairy Science*, 87:1719–1726. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73325-1.
- Lencioni, G. C., de Sousa, R. V., de Souza, S. E. J., Romero, C. R., Zanella, A. J., 2021, “Pain assessment in horse using automatic facial expression ecognition through deep learning-based modeling”, *PLoS ONE*, 16:e0258672. doi: 10.1371/journal.pone.0258672.
- , Lezama-García, K., Orihuela, A., Olmos-Hernández, A., Reyes-Long, S., y Mota-Rojas, D., 2019, “Facial expressions and emotions in domestic animals”, *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 14:1–12. doi: 10.1079/PAVS-NNR.201914028.
- Linzell, J. L., 1959, “The Innervation of the Mammary Glands in the Sheep and Goat With Some Observations on the Lumbosacral Autonomic Nerves”, *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences*, 44:160–176. doi: 10.1113/expphysiol.1959.sp001382.
- Liu, Y., Lyu, Y., y Wang, H., 2022, “TRP Channels as Molecular Targets to Relieve Endocrine-Related Diseases”, *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9:895814. doi: 10.3389/fmolb.2022.895814.
- MacDiarmid, S. C., 1978, “Antibacterial drugs used against mastitis in cattle by the systemic route”, *New Zealand Veterinary Journal*, 26:290–295. doi: 10.1080/00480169.1978.34574.
- Mainau, E., Llonch, P., Temple, D., Goby, L., y Manteca, X., 2022, “Alteration in Activity Patterns of Cows as a Result of Pain Due to Health Conditions”, *Animals*, 12:176. doi: 10.3390/ani12020176.
- Mansion-de Vries, E. M., Hoedemaker, M., y Krömker, V., 2015, “Aspekte einer evidenzbasierten Therapie klinischer Mastitiden”, *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere / Nutztiere*, 43:287–295. doi: 10.15653/TPG-150227.

- McDougall, S., Abbeloos, E., Piepers, S., Rao, A., Astiz, S., y Werven, T. V., 2015, "Addition of Metacam (Meloxicam) to the treatment of clinical mastitis improves subsequent reproductive performance", *British Mastitis Conference*, 15:61–63.
- McDougall, S., Abbeloos, E., Piepers, S., Rao, A. S., Astiz, S., van Werven, T., *et al.*, 2016, "Addition of meloxicam to the treatment of clinical mastitis improves subsequent reproductive performance", *Journal of Dairy Science*, 99:2026–2042. doi: 10.3168/jds.2015-9615.
- McDougall, S., Bryan, M. A., y Tiddy, R. M., 2009, "Effect of treatment with the nonsteroidal anti-inflammatory meloxicam on milk production, somatic cell count, probability of re-treatment, and culling of dairy cows with mild clinical mastitis", *Journal of Dairy Science*, 92:4421–4431. doi: 10.3168/jds.2009-2284.
- McDougall, S., Clausen, L. M., Hussein, H. M., y Compton, C. W. R., 2022, "Therapy of Subclinical Mastitis during Lactation", *Antibiotics*, 11:209. doi: 10.3390/antibiotics11020209.
- McDougall, S., Pankey, W., Delaney, C., Barlow, J., Murdough, P. A., y Scruton, D., 2002, "Prevalence and incidence of subclinical mastitis in goats and dairy ewes in Vermont, USA", *Small Ruminant Research*, 46:115–121. doi: 10.1016/S0921-4488(02)00191-8.
- McLennan, K., y Mahmoud, M., 2019, "Development of an Automated Pain Facial Expression Detection System for Sheep (*Ovis Aries*)", *Animals*, 9:196. doi: 10.3390/ani9040196.
- Medrano-Galarza, C., Gibbons, J., Wagner, S., de Passillé, A. M., y Rushen, J., 2012, "Behavioral changes in dairy cows with mastitis", *Journal of Dairy Science*, 95:6994–7002. doi: 10.3168/jds.2011-5247.
- Morecraft, R. J., Louie, J. L., Herrick, J. L., y Stilwell-Morecraft, K. S., 2001, "Cortical innervation of the facial nucleus in the non-human primate", *Brain*, 124:176–208. doi: 10.1093/brain/124.1.176.
- Morecraft, R., McNeal, D., y Stilwell-Morecraft, K., 2007, "Amygdala Interconnections with the cingulate motor cortex in the rhesus monkey", *Journal of Computational Neurology*, 500:134–165.
- Mota-Rojas, D., Ceballos, M. C., y Orihuela, A., 2016, "Prácticas dolorosas en animales de granja," *Bienestar animal, una visión global en Iberoamérica*, 3ra. ed., Elsevier, Barcelona, España, 137–154.
- Mota-Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Hernández, E., Martínez-Burnes, J., anyd Whittaker, A. L., 2020, "The utility of grimace scales for practical pain assessment in laboratory animals", *Animals*, 10:1838. doi: 10.3390/ani10101838.
- Mota-Rojas, D., Rosa, G. de, Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., y Napolitano, F., 2019, "Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking", *CABI Reviews*, 14:1–9. doi: 10.1079/PAVSNNR201914035.
- Mota-Rojas, D., Velarde, A., Marcet-Rius, M., Orihuela, A., Bragaglio, A., Hernández-Ávalos, I., *et al.*, 2022, "Analgesia during Parturition in Domestic Animals: Perspectives and Controversies on Its Use", *Animals*, 12:2686. doi: 10.3390/ani12192686.

- Muir, W. W., 2009, “Physiology and pathophysiology of pain,” en Gaynor, J.S., y Muir, W.W. (eds.), *Handbook of Veterinary Pain Management*, Mosby. USA, 13–49.
- Müller, B. R., Soriano, V. S., Bellio, J. C. B., y Molento, C. F. M., 2019, “Facial expression of pain in Nellore and crossbred beef cattle”, *Journal of Veterinary Behavior*, 34:60–65. doi: 10.1016/j.jveb.2019.07.007.
- Ndahetuye, J. B., Persson, Y., Nyman, A.-K., Tukei, M., Ongol, M. P., y Båge, R., 2019, “Aetiology and prevalence of subclinical mastitis in dairy herds in peri-urban areas of Kigali in Rwanda”, *Tropical Animal Health and Production*, 51:2037–2044. doi: 10.1007/s11250-019-01905-2.
- Neethirajan, S., 2021, “The use of artificial intelligence in assessing affective states in livestock”, *Frontiers in Veterinary Science*, 8:715261. doi: 10.3389/fvets.2021.715261
- Olechnowicz, J., y Jaskowski, J. M., 2011, “Behaviour of lame cows: A review”, *Veterinarni Medicina*, 56:581–588. doi: 10.17221/4435-VETMED.
- Peters, M. D. P., Silveira, I. D. B., y Fischer, V., 2015, “Impact of subclinical and clinical mastitis on sensitivity to pain of dairy cows”, *Animal*, 9:2024–2028. doi: 10.1017/S1751731115001391.
- Petitclerc, D., Lauzon, K., Cochu, A., Ster, C., Diarra, M. S., y Lacasse, P., 2007, “Efficacy of a Lactoferrin-Penicillin Combination to Treat β -Lactam-Resistant *Staphylococcus aureus* Mastitis”, *Journal of Dairy Science*, 90:2778–2787. doi: 10.3168/jds.2006-598.
- Puerto, M. A., Shepley, E., Cue, R. I., Warner, D., Dubuc, J., y Vasseur, E., 2021, “The hidden cost of disease: I. Impact of the first incidence of mastitis on production and economic indicators of primiparous dairy cows”, *Journal of Dairy Science*, 104:7932–7943. doi: 10.3168/jds.2020-19584.
- Purves, D., Augustine, G., y Fitzpatrick, D., 2001, *Neuroscience*, Sinauer Associates, USA.
- Pyörälä, S., 2003, “Indicators of inflammation in the diagnosis of mastitis”, *Veterinary Research*, 34:565–578. doi: 10.1051/vetres:2003026.
- Pyörälä, S. H., y Pyörälä, E. O., 1998, “Efficacy of parenteral administration of three antimicrobial agents in treatment of clinical mastitis in lactating cows: 487 cases (1989-1995)”, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 212:407–412.
- Pyorala, S., y Taponen, S., 2009, “Coagulase-negative staphylococci—Emerging mastitis pathogens”, *Veterinary Microbiology*, 134:3–8. doi: 10.1016/j.vetmic.2008.09.015.
- Raja, S. N., Carr, D. B., Cohen, M., Finnerup, N. B., Flor, H., Gibson, S., *et al.*, 2020, “The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises”, *Pain*, 161:1976–1982. doi: 10.1097/j.pain.0000000000001939.
- Rasmussen, D. B., Fogsgaard, K., Røntved, C. M., Klaas, I. C., y Herskin, M. S., 2011, “Changes in thermal nociceptive responses in dairy cows following experimentally induced *Escherichia coli* mastitis”, *Acta Veterinaria Scandinavica*, 53:32. doi: 10.1186/1751-0147-53-32.

- Roberson, J. R., 2012, "Treatment of Clinical Mastitis", *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 28:271–288. doi: 10.1016/j.cvfa.2012.03.011.
- Royster, E., and Wagner, S., 2015, "Treatment of Mastitis in Cattle", *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 31:17–46. doi: 10.1016/j.cvfa.2014.11.010.
- Rudebeck, P. H. P., y Rich, E. L., 2018, "Orbitofrontal cortex", *Current Biology*, 28:R1083–R1088. doi: 10.1016/j.cub.2018.07.018.
- Ruegg, P. L., 2018, "Making Antibiotic Treatment Decisions for Clinical Mastitis", *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 34:413–425. doi: 10.1016/j.cvfa.2018.06.002.
- Ruegg, P. L., 2022, "Realities, Challenges and Benefits of Antimicrobial Stewardship in Dairy Practice in the United States", *Microorganisms*, 10:1626. doi: 10.3390/microorganisms10081626.
- Sadeghi, H., Gharagozlou, F., Vojgani, M., Mobedi, E., Bafandeh, M., y Akbarinejad, V., 2023, "Evidence that elevation of maternal somatic cell count could lead to production of offspring with inferior reproductive and productive performance in dairy cows during the first lactation period", *Theriogenology*, 200:79–85. doi: 10.1016/j.theriogenology.2023.02.002.
- Salguero-Galland, M., y Panduro, C., 2001, "Emociones y genes", *Investigaciones en Salud*, 3:35–40.
- Schukken, Y. H., Bennett, G. J., Zurakowski, M. J., Sharkey, H. L., Rauch, B. J., Thomas, M. J., *et al.*, 2011, "Randomized clinical trial to evaluate the efficacy of a 5-day ceftiofur hydrochloride intramammary treatment on nonsevere gram-negative clinical mastitis", *Journal of Dairy Science*, 94:6203–6215. doi: 10.3168/jds.2011-4290.
- Schukken, Y. H., Zurakowski, M. J., Rauch, B. J., Gross, B., Tikofsky, L. L., y Welcome, F. L., 2013, "Noninferiority trial comparing a first-generation cephalosporin with a third-generation cephalosporin in the treatment of nonsevere clinical mastitis in dairy cows", *Journal of Dairy Science*, 96:6763–6774. doi: 10.3168/jds.2013-6713.
- Sérieys, F., Raguet, Y., Goby, L., Schmidt, H., y Friton, G., 2005, "Comparative Efficacy of Local and Systemic Antibiotic Treatment in Lactating Cows with Clinical Mastitis", *Journal of Dairy Science*, 88:93–99. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72666-7.
- Shi, R., Shu, H., Yu, R., Wang, Y., Zhang, Z., Zhang, J., *et al.*, 2022, "Current Attitudes of Chinese Dairy Practitioners to Pain and Its Management in Intensively Raised Dairy Cattle", *Animals*, 12:3140. doi: 10.3390/ani12223140.
- Shock, D. A., Renaund, D. L., Roche, S. M., Poliquin, R., Thomson, R., y Olson, M. E., 2018, "Correction: Evaluating the impact of meloxicam oral suspension administered at parturition on subsequent production, health, and culling in dairy cows: A randomized clinical field trial", *PLOS ONE*, 13:e0210326. doi: 10.1371/journal.pone.0210326.
- Short, C. E., 1998, "Fundamentals of pain perception in animals", *Applied Animal Behaviour Science*, 59:125–133. doi: 10.1016/S0168-1591(98)00127-0.

- Shpigel, N. Y., Chen, R., Winkler, M., Saran, A., Ziv, G., y Longo, F., 1994, “Anti-inflammatory ketoprofen in the treatment of field cases of bovine mastitis”, *Research in Veterinary Science*, 56:62–68. doi: 10.1016/0034-5288(94)90197-X.
- Shpigel, N. Y., Winkler, M., Saran, A., y Zrv, G., 1996, “The Anti-inflammatory Drugs Phenylbutazone and Dipyron in the Treatment of Field Cases of Bovine Mastitis”, *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 43:331–336. doi: 10.1111/j.1439-0442.1996.tb00460.x.
- Shuster, D. E., Harmon, R. J., Jackson, J. A., y Hemken, R. W., 1991, “Suppression of Milk Production During Endotoxin-Induced Mastitis”, *Journal of Dairy Science*, 74:3763–3774. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78568-8.
- Singha, S., Koop, G., Persson, Y., Hossain, D., Scanlon, L., Derks, M., *et al.*, 2021, “Incidence, Etiology, and Risk Factors of Clinical Mastitis in Dairy Cows under Semi-Tropical Circumstances in Chattogram, Bangladesh”, *Animals*, 11:2255. doi: 10.3390/ani11082255.
- Steagall, P. V., Bustamante, H., Johnson, C. B., y Turner, P. V., 2021, “Pain Management in Farm Animals: Focus on Cattle, Sheep and Pigs”, *Animals*, 11:1483. doi: 10.3390/ani11061483.
- Sugiyama, M., Watanabe, M., Sonobe, T., Kibe, R., Koyama, S., y Kataoka, Y., 2022, “Efficacy of antimicrobial therapy for bovine acute *Klebsiella pneumoniae* mastitis”, *The Journal of Veterinary Medical Science*, 84:1023–1028. doi: 10.1292/jvms.21-0617.
- Suojala, L., Simojoki, H., Mustonen, K., Kaartinen, L., y Pyörälä, S., 2010, “Efficacy of enrofloxacin in the treatment of naturally occurring acute clinical *Escherichia coli* mastitis”, *Journal of Dairy Science*, 93:1960–1969. doi: 10.3168/jds.2009-2462.
- Thomsen, P. T., Anneberg, I., y Herskin, M. S., 2012, “Differences in attitudes of farmers and veterinarians towards pain in dairy cows”, *The Veterinary Journal*, 194:94–97. doi: 10.1016/j.tvjl.2012.02.025.
- Tomacheuski, R. M., Monteiro, B. P., Evangelista, M. C., Luna, S. P. L., y Steagall, P. V., 2021, “Measurement properties of pain scoring instruments in farm animals: A systematic review protocol using the COSMIN checklist”, *PLOS ONE*, 16:e0251435. doi: 10.1371/journal.pone.0251435.
- Tomacheuski, R. M., Oliveira, A. R., Trindade, P. H. E., Oliveira, F. A., Candido, C. P., Teixeira Neto, F. J., *et al.*, 2023, “Reliability and validity of UNESP-Botucatu cattle pain scale and cow pain scale in *Bos taurus* and *Bos indicus* bulls to assess postoperative pain of surgical orchiectomy”, *Animals*, 13:364. doi: 10.3390/ani13030364.
- Tomazi, T., y dos Santos, M. V., 2020, “Antimicrobial use for treatment of clinical mastitis in dairy herds from Brazil and its association with herd-level descriptors”, *Preventive Veterinary Medicine*, 176:104937. doi: 10.1016/j.prevetmed.2020.104937.
- Truchetti, G., Bouchard, E., Descôteaux, L., Scholl, D., y Roy, J.-P., 2014, “Efficacy of extended intramammary ceftiofur therapy against mild to moderate clinical mastitis in Holstein dairy cows: a randomized clinical trial”, *Canadian journal of veterinary research*, 78:31–7.

- Tschoner, T., 2021, "Methods for Pain Assessment in Calves and Their Use for the Evaluation of Pain during Different Procedures—A Review", *Animals*, 11:1235. doi: 10.3390/ani11051235.
- Vangroenweghe, F., Duchateau, L., Boutet, P., Lekeux, P., Rainard, P., Paape, M. J., *et al.*, 2005, "Effect of Carprofen Treatment Following Experimentally Induced *Escherichia coli* Mastitis in Primiparous Cows", *Journal of Dairy Science*, 88:2361–2376. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72914-3.
- VanHouten, J. N., y Wysolmerski, J. J., 2007, "Transcellular Calcium Transport in Mammary Epithelial Cells", *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 12:223–235. doi: 10.1007/s10911-007-9057-1.
- Wagner, B. K., Nixon, E., Robles, I., Baynes, R. E., Coetzee, J. F., y Pairis-Garcia, M. D., 2021, "Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs: Pharmacokinetics and Mitigation of Procedural-Pain in Cattle", *Animals*, 11:282. doi: 10.3390/ani11020282.
- Wahyu Harjanti, D., and Sambodho, P., 2020, "Effects of mastitis on milk production and composition in dairy cows", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 518:012032. doi: 10.1088/1755-1315/518/1/012032.
- Walker, C. C. F., Brester, J. L., y Sordillo, L. M., 2021, "Flunixin Meglumine Reduces Milk Isoprostane Concentrations in Holstein Dairy Cattle Suffering from Acute Coliform Mastitis", *Antioxidants*, 10:834. doi: 10.3390/antiox10060834.
- Waller, B. B. M., y Micheletta, J., 2013, "Facial expression in nonhuman animals", *Emotion*, 5:54–59. doi: 10.1177/1754073912451503.
- Waller, B. M., Julle-Daniere, E., y Micheletta, J., 2020, "Measuring the evolution of facial 'expression' using multi-species FACS", *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 113:1–11. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.02.031.
- Wiese, A. J., y Yaksh, T. L., 2009, "Nociception and pain mechanism," en Gaynor, J.S., Muir, W.W., (eds.), *Handbook of Veterinary Pain Management*, Elsevier, USA.
- Wilson, D. J., Gonzalez, R. N., Case, K. L., Garrison, L. L., y Groöhn, Y. T., 1999, "Comparison of Seven Antibiotic Treatments with No Treatment for Bacteriological Efficacy Against Bovine Mastitis Pathogens", *Journal of Dairy Science*, 82:1664–1670. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75395-6.
- Wilson, D. J., Grohn, Y. T., Bennett, G. J., González, R. N., Schukken, Y. H., y Spatz, J., 2008, "Milk Production Change Following Clinical Mastitis and Reproductive Performance Compared Among J5 Vaccinated and Control Dairy Cattle", *Journal of Dairy Science*, 91:3869–3879. doi: 10.3168/jds.2008-1405.
- Xing, X., Fu, J., Wang, H., y Zheng, J., 2021, "Contributions of prelimbic cortex, dorsal and ventral hippocampus and basolateral amygdala to fear return induced by elevated platform stress in rats", *Brain Research*, 1761:147398.

Beneficios y consecuencias del recorte de pico en la productividad: Aspectos anatómicos, fisiológicos y neurobiología del dolor

Daniel Mota Rojas^{1*}, Agustín Orihuela², Ismael Hernández Ávalos³, Adriana Domínguez Oliva¹, Alejandro Casas Alvarado¹, Pamela Anahí Lendez⁴ y Marcelo Daniel Ghezzi⁴

Resumen. El recorte de pico en aves es una práctica que se lleva a cabo en las unidades de producción con la finalidad de prevenir el picaaje severo al huevo o a los congéneres, así como el canibalismo. Sin embargo, el pico es una estructura indispensable para las aves, no sólo para alimentarse, sino también para explorar su ambiente. Adicionalmente, el pico se encuentra densamente innervado, por lo cual es capaz de responder a estímulos nocivos como lo es el recorte de pico. Aunque existen diferencias en la manera en la que las aves procesan la información nociceptiva (p. ej., los mecanismos de percepción y proyección), la semejanza del palio con la corteza cerebral de los mamíferos implica que éstos son capaces de percibir dolor. Debido a ello, aunque el recorte de pico se elige como la opción más fácil, económica y rápida para prevenir los casos de picaaje, se deben considerar las consecuencias que se pueden presentar después del despique, como una reducción en el consumo de alimento o alteraciones en el comportamiento debido al dolor. Por ello, antes de adoptar el despique como una técnica invasiva, se sugiere el uso de alternativas como el enriquecimiento ambiental, así como mejorar el espacio vital de los animales y su nutrición con el fin de reducir la incidencia de picaaje entre congéneres. El objetivo de esta revisión es describir la anatomía del pico y funcionalidad del pico en aves, así como la neurofisiología del dolor involucrada durante el recorte de pico. Se analizará la evidencia científica relacionada a los beneficios y consecuencias por el uso de esta práctica en las unidades de producción.

Palabras clave: Dolor, Recorte de pico, Despique, Picaaje de plumas.

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Ciudad de México. México.

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

³ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. FESC. UNAM. Estado de México. México.

⁴ Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), University Campus, Argentina.

* Autor de correspondencia. e-mail: dmota@correo.xoc.uam.mx

Abstract. *Beak trimming in poultry is a common practice performed in laying hens to prevent severe pecking of eggs or conspecifics, as well as cannibalism. However, the beak is an essential structure for birds, not only for feeding but also for exploring their environment. The beak is densely innervated, which is why it is capable of responding to noxious stimuli such as beak trimming. Although there are differences in the way birds process nociceptive information (e.g., perception and projection mechanisms), the similarity of the pallium to the cerebral cortex of mammals implies that birds are capable of perceiving pain. For this reason, although beak trimming is chosen as the easiest, most economical, and fastest option to prevent pecking, the consequences that may occur after debeaking must be considered, such as a reduction in feed consumption or behavioral alterations due to pain. Therefore, before adopting beak trimming as an invasive technique, the use of alternatives such as environmental enrichment is suggested, as well as improving the animals' living space and their nutrition to reduce the incidence of pecking among conspecifics. The objective of this review is to describe beak anatomy and beak functionality in birds, as well as the pain neurophysiology involved during beak trimming. The scientific evidence related to the benefits and consequences of the use of this practice in production units will be analyzed.*

Keywords: *Pain, Beak trimming, Debeaking, Feather damage.*

INTRODUCCIÓN

El recorte de pico o despique en las gallinas de postura, pavos, patos y codornices consiste en la amputación de un tercio, la mitad o hasta el 100% de esta estructura (Glatz, 2000; Gustafson *et al.* 2007; Glatz y Underwood, 2020; Baker *et al.* 2022) En la industria avícola, el recorte de pico se emplea como una estrategia para prevenir y reducir el daño del autopicaje o el picaje a congéneres. Estudios han mostrado que el corte de pico favorece la productividad de las aves al incrementar la ganancia de peso hasta por 8.7 g (Henderson *et al.* 2009). De igual manera, ayuda a reducir el desperdicio de alimento, previene pérdidas por depreciación al evitar mal emplume, mejora la conversión alimenticia y previene el picaje de huevos. El despique también reduce la incidencia de lesiones que pueden ocasionar dolor o complicarse al generar prolapso uterino y canibalismo (Sandilands y Savory, 2002; Li *et al.* 2020; Nielsen *et al.* 2023), y ha mostrado reducir la incidencia de canibalismo hasta en un 5% (Riber y Hinrichsen, 2017).

A pesar de que existe evidencia que indica la utilidad del recorte de pico, actualmente es una práctica controversial debido a que las ventajas a nivel productivo pueden contraponerse con los efectos a nivel de bienestar animal (Guesdon *et al.* 2006; Pizzolante *et al.* 2007; Mota-Rojas *et al.*, 2016). Esta tendencia surge de reconocer a los animales como seres sintientes en quienes una mayor producción no equivale a un buen bienestar (Cornish *et al.* 2016; Broom, 2019). En animales de granja, prácticas rutinarias y potencialmente dolorosas suelen enfocarse en mejorar aspectos productivos. Por ejemplo,

el corte de cola en cerdos se recomienda para reducir la incidencia de lesiones en la cola por congéneres (Morrison y Hemsworth, 2020), mientras que la misma práctica se emplea en corderos y becerros para reducir la probabilidad de miasis (Gascoigne *et al.* 2021; Steagall *et al.* 2021)the Veterinary Surgeons Act (1966. No obstante, debido a que la etiología de la caudofagia, miasis y picaje es multifactorial, es más fácil para los productores adoptar estas medidas rutinarias dolorosas que resolver el problema de raíz, lo cual es inadmisibile en la actualidad (Mota-Rojas *et al.*, 2016)

En este sentido, el picaje es común en las aves de postura, mostrando una prevalencia del 24 al 94% (Mens *et al.* 2020; Mota- Rojas *et al.* 2016). El picaje se ha clasificado como un comportamiento redirigido que es observado cuando a las aves no se les permite forrajear, establecer jerarquía (Cronin y Glatz, 2020). Esto ha sido reportado por Dixon *et al.* (2008), quien encontró que limitar las oportunidades de forrajeo de las aves genera un incremento en el picaje hacia congéneres. Huber-Eicher y Wechsler (1997) reportó que proporcionar sustrato para bañarse (arena) y forrajear (paja) a gallinas domésticas desde el primer día de vida redujo significativamente la frecuencia de picaje (0 a 20 eventos cada 30 min). Otras causas son asociadas a estrés por los ruidos que se presentan en las granjas o por el manejo animal (Cronin y Glatz, 2020). De igual forma, deficiencias nutricionales en cuanto a proteína, aminoácidos, energía, vitaminas, minerales y fibra generan que las aves desarrollen picaje (Fijn *et al.* 2020).

Además de la naturaleza multifactorial del picaje, se deben considerar las consecuencias o desventajas que implica el recorte de pico (Hartcher *et al.* 2015; Guinebretière *et al.* 2020). El despique genera dolor agudo debido a que el pico posee fibras neuronales y nociceptores que son estimulados por el trauma directo al realizar el corte del tejido (Lunam, 2005). Actualmente se conoce que la forma en que las aves procesan los estímulos dolorosos difiere de los mamíferos, lo cual hace complejo el reconocimiento del dolor y las consecuencias fisiológicas y conductuales en aves (Jongman *et al.* 2008; Machin, 2014; Douglas *et al.* 2018; Malik y Valentine, 2018). Por tal motivo, el objetivo de esta revisión es describir la anatomía y funcionalidad del pico y la neurobiología del dolor durante el despique, así como analizar la evidencia científica relacionada a los beneficios y consecuencias por el uso de esta práctica en las unidades de producción.

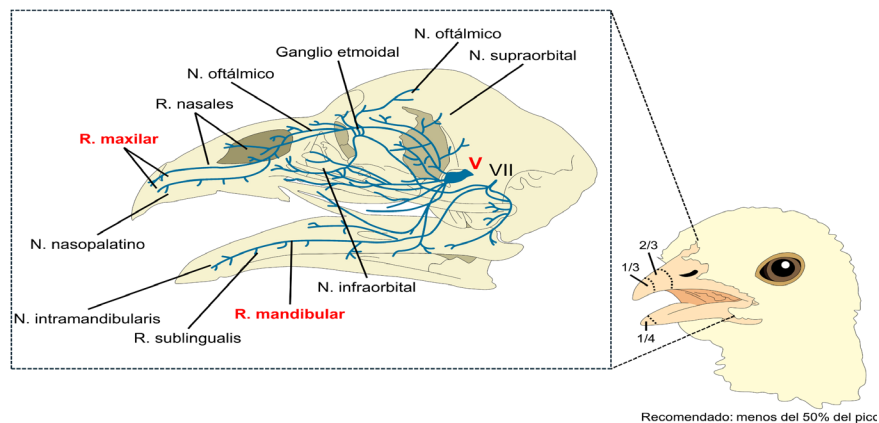
Anatomía y función del pico en aves

Durante el desarrollo embrionario de las aves, en el extremo anterior de la valva superior se forma una estructura córnea dura conocida como “diente de huevo o nacimiento”, la cual usa para romper, eclosionar y nacer. El pico es una estructura esencial en las aves debido a su participación en la alimentación, conducta sexual y la termorregulación (Iqbal y Moss, 2021). La estructura del pico de las aves ha ido evolucionando de acuerdo con la funcionalidad del mismo, sirviendo como un medio de interacción con su ambiente al poder sostener objetos, acicalar las plumas, formar nidos y como método de

defensa contra predadores (Iqbal y Moss, 2021). También participa en la exhibición de comportamientos maternos como el alimentar a las crías y, en el caso de aves que emiten cantos, permite la creación del sonido (Friedman *et al.* 2019). La variación en la forma y estructura del pico tiene relación con las preferencias dietéticas y factores genéticos. Por ejemplo, las aves rapaces tienen un pico más largo y curvo que permite el desgarrar de la carne, lo que obedece a la presencia de genes reguladores (Bright *et al.* 2016). Sin embargo, en Psittaciformes, se ha encontrado que la dieta solo predice el 2.4% de la variación de la forma de pico y cráneos, pero la alometría evolutiva y la filogenia predicen la mitad de la variación (Bright *et al.* 2019).

Anatómicamente está conformado por el maxilar y la mandíbula, los cuales integran el límite dorsal y ventral de la cavidad oral en las aves. La superficie externa del pico está cubierta por un engrosamiento queratinizado de la córnea de la epidermis (Nickel *et al.* 1977; Speer y Powers, 2016). La inervación del pico está dada por tres divisiones del nervio trigémino: el nervio oftálmico, nervio maxilar y nervio mandibular. La región maxilar del pico está inervada por el nervio *ethmoidalis* (rama del nervio oftálmico) y el *palatinus major* (proveniente del nervio maxilar). Por otro lado, la mandíbula o pico inferior está inervado por tres porciones de la rama *mandibularis* que se divide en el nervio *angularis oris*, *sublingual* y *alveolar manbibulae* que también genera prolongaciones en las glándulas y la región inferior del pico (Figura 1) (Fahey *et al.* 2007; International Committee Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, 2017).

Figura 1. Neuroanatomía del pico



De manera particular, aunque el pico está provisto por una densa cantidad de nervios, tanto el nervio (n) trigémino (V) como las ramas (r) maxilar y mandibular son las encargadas de transmitir estímulos nocivos desde el pico hasta estructuras cerebrales para llevar a cabo el procesamiento del dolor.

La inervación observada en la región facial viene acompañada de una densa vascularización, razón por la cual se sugiere que el pico es una área que contribuye a la termorregulación (Iqbal y Moss, 2021). De hecho, aunque el pico representa únicamente el 5% de la superficie total de las aves, contribuye con el 20% del intercambio térmico del cuerpo. En aves que habitan regiones tropicales, el intercambio de calor puede incrementar hasta el 400%, lo que significa que la vascularización del pico contribuye significativamente en el intercambio de calor (Tattersall *et al.* 2009).

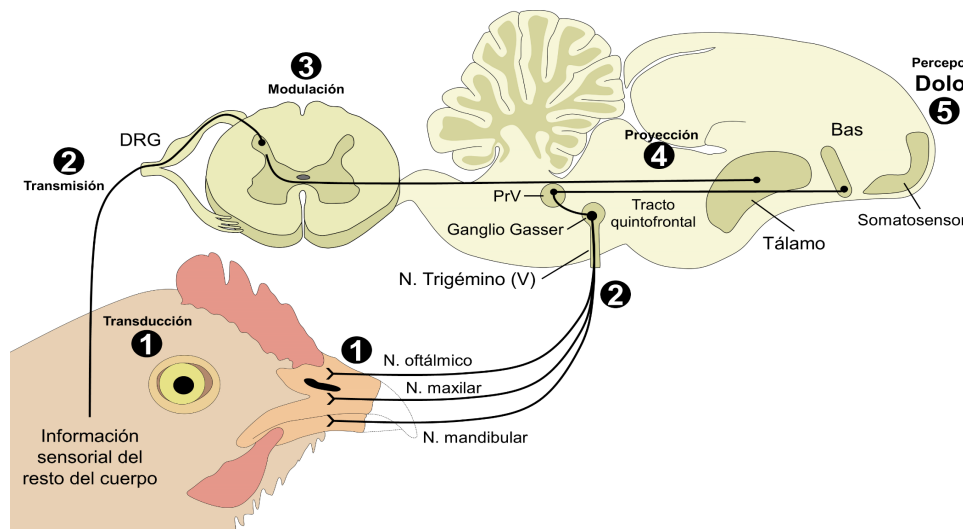
En el pico, Cristina-Silva *et al.* (2022) menciona la localización de canales iónicos de potencial transitorio (TRP), los cuales participan activamente para iniciar las respuestas termorreguladoras en respuesta a frío o calor. Estudios comparativos realizados por Soliman y Madkour (2017) han reportado la presencia de receptores sensoriales en muestras de pico de pato y codorniz, identificando que las mayores proporciones de receptores sensoriales como corpúsculos de Herbst y Grandryen se encuentran la punta del pico de pato. Por el contrario, en la codorniz se observó una mayor proporción de corpúsculos de Ruffini en el sitio medio de la mucosa oral de la parte cráneo-caudal. Con base a estos resultados se indicó que el pico del pato percibe sensaciones como estiramiento y presión en la región media y caudal, mientras que la punta del pico de codorniz reconoce sensaciones de estiramiento y vibración. Con estos hallazgos se puede comprender la estructura neuronal y la disposición de las terminaciones nerviosas libres en las aves. Con relación a esto, Saxon (1988) menciona que la variación neurosensorial en los picos de las aves puede estar asociada a interacciones morfogenéticas para el desarrollo de receptores cutáneos. A pesar de las diferencias entre la disposición de las terminaciones nerviosas en el pico, es más claro que el pico es una región sensible a estímulos mecánicos. Estos hechos concuerdan con lo descrito por Lunam (2005), quien menciona que esta región contiene abundantes terminaciones simpáticas que responden a estímulos traumáticos fácilmente.

El pico es una estructura sensible con funciones sensoriales, tróficas y termorreguladoras debido a la inervación y vasculatura que puede responder a los estímulos sensoriales. La presencia de inervación autónoma en el pico sugiere que esta zona es especialmente sensible a eventos traumáticos como el recorte del pico, mismo que puede desencadenar un evento nociceptivo.

Neurobiología del dolor en aves

La base anatómica y neuronal del pico permiten comprender que es una región sensible, capaz de recibir y responder a señales nocivas como el traumatismo que se genera por el recorte de pico. Al igual que lo observado en mamíferos, el arco nociceptivo es el encargado de decodificar y procesar los estímulos nocivos que recibe un organismo a través de 5 elementos: transducción, transmisión, modulación, proyección y percepción (Figura 2) (Bell, 2018). Aunque, se ha observado un gran avance en el reconocimiento del dolor en animales; en relación a la especie avícola este avance es poco notorio, ya sea por el desconocimiento del proceso nociceptivo o por la falta de su reconocimiento en las aves (Jongman *et al.* 2008; Naser *et al.* 2021).

Figura 2. Arco nociceptivo



A. Transducción. es el proceso por el cual el estímulo nociceptivo es convertido en una señal eléctrica en los nociceptores, que en su caso origina cambios periféricos que son reconocidos como indicadores de dolor: enrojecimiento, hinchazón, tersura (Bell, 2018). B. Transmisión. es la conducción de la señal eléctrica generado en los nociceptores a lo largo de los axones de las neuronas de primer orden, mismas que hacen sinapsis con las neuronas de segundo orden en el asta dorsal de la médula espinal (Gaynor & Muir, 2015). La información es transmitida, a través de dos neuronas nociceptivas aferentes primarias: fibras C o nociceptores polimodales C (transmiten información nociceptiva mecánica, térmica, química) y fibras A delta (responden a estímulos mecánicos de alta intensidad, por lo cual son llamadas mecanorreceptores de umbral alto) (Corke, 2019). C. Modulación. es el proceso por el cual los mecanismos excitatorios e inhibitorios alteran la transmisión del impulso nervioso (Lamont, 2008). Representa los cambios que ocurren en el sistema nervioso en respuesta a un estímulo nociceptivo. D. Proyección. aquí la información nociceptiva es transportada al cerebro por medio de los tractos nerviosos que se originan en las láminas del asta dorsal entre las que destacan el tracto espinotalámico y propioespinal (estructuras supra-espinales) (Gaynor & Muir, 2015). E. Percepción. a este nivel se lleva a cabo el procesamiento e integración de la información que ocurre en múltiples áreas específicas del cerebro tales como la corteza cerebral en mamíferos, sin embargo, en aves se ha observado que el palio es la estructura encargada para definir características sensoriales, tales como el inicio, localización y tipo del estímulo nociceptivo (Ellison, 2017; Papini et al., 2019).

La asociación internacional del estudio del dolor (IASP, por sus siglas en inglés) define a éste como una “una experiencia sensorial y emocional aversiva causada por una real o potencial lesión tisular” (Apkarian, 2019). En las aves, la evidencia ha mostrado que poseen estructuras anatómicas y vías fisiológicas capaces de responder a estímulos nocivos mediante mecanismos endógenos (Douglas *et al.* 2018; Machin, 2014).

Aunque la estructura cerebral de las aves difiere anatómicamente de la de los mamíferos, se han reportado estructuras análogas entre ambas especies. Por ejemplo, la estructura y conformación del palio (*pallium*) se considera como una región que asemeja la corteza cerebral de los mamíferos (Güntürkün *et al.* 2021). Un estudio realizado por Rattenborg (2006) analizó electroencefalogramas durante el sueño en animales de diferentes especies (mamíferos, aves y reptiles), observando que tanto en mamíferos como en aves se registraron oscilaciones lentas (<1 Hertz) y oscilaciones de 1–4 Hertz. La detección de estas oscilaciones indica la comunicación de las neuronas presentes en la región cortical en mamíferos y la región del palio en las aves. Adicionalmente, la identificación de dichas oscilaciones neuronales sugirió una mayor actividad en las interconexiones intercorticales e interpaliales en los mamíferos y aves, respectivamente.

Aunque se requieren estudios adicionales para mapear a detalle las estructuras encargadas del procesamiento nociceptivo en aves, debido a que el palio es una estructura con una función similar a la corteza cerebral de mamíferos, las respuestas de estrés asociadas al dolor podrían ser moduladas por esta región (Ritchie, 2014; Papini *et al.* 2019; Güntürkün *et al.* 2021). A este respecto, Kim *et al.* (2010) investigaron la distribución del receptor transitorio anquirina 1 (TRPA1) en aves domésticas, un receptor asociado a estímulos dolorosos. Los autores reportaron que los TRPA1 de aves son capaces de responder a estímulos nocivos térmicos. Dichos receptores y axones mielinizados y amielínicos se encontraron en el ganglio trigémino, presentando también un marcaje a sustancia P de neuronas peptidérgicas y no peptidérgicas. Por otra parte, en el sistema nervioso central se observó inmunopositividad en láminas superficiales del núcleo caudal del trigémino y en la asta dorsal de la médula espinal. Al realizar una caracterización molecular del pico de pato embrionario, Schneider *et al.* (2017) encontraron una alta densidad de corpúsculos mecano sensoriales inervados que expresan canales de iones “piezo2”, los cuales producen una mecano corriente especializada al tacto. Esto ayuda a sostener la idea de que el pico es una región con propiedades sensoriales, aunque la vía de transmisión nociceptiva desde el pico hasta el palio aún no está completamente explicada.

De manera general, posterior a la transducción de los estímulos mecánicos y térmicos potencialmente nocivos, estos son transmitidos por las fibras tipo C amielínicas y las fibras tipo A δ mielínicas (Bell, 2018; Hernandez-Avalos *et al.* 2019). De acuerdo con Ellison (2017), la respuesta de estas fibras depende de la modalidad de transmisión del estímulo, en donde las fibras C son delgadas con una velocidad que no excede los 0.5–3 m/seg, mientras que las fibras tipo A son gruesas y presentan una velocidad de transmisión de 70 a 120 m/seg, por lo que son consideradas de transmisión rápida (Gaynor y Muir,

2015). En el caso de la especie aviar, Sandercock (2004) estudió la respuesta fisiológica de las fibras aferentes nociceptivas en el músculo esquelético del pollo (*Gallus domesticus*) a través de estimulación mecánica y química. En estas fibras se observó una variación en la velocidad de conducción de 2.8 a 11.3 m/s, con umbrales de respuesta a la compresión tisular entre 38 y 126 kPa. Estos estudios sugieren que las aves poseen neuronas capaces de transmitir impulsos nociceptivos de forma similar a lo observado en mamíferos.

No obstante, una de las principales diferencias nociceptivas en aves es la proporción de las fibras tipo C y A, donde se ha identificado que las fibras C son más abundantes en comparación con las fibras A δ (Hardy, 2002). Esto mismo fue informado por Abdalla y King (1982), quienes estudiaron el número medio de las fibras amielínicas del nervio vago en aves mediante microscopía electrónica, encontrando una proporción de 3:1, lo que representó un 72% de fibras amielínicas en esta especie. Por tanto, una existencia mayor de fibras C en las aves se reflejaría como una velocidad de transmisión más lenta y un umbral mayor de activación sin que esto signifique que los aves no son capaces de percibir dolor (Perl, 2007).

La proporción de neuronas especializadas en dolor sugiere que las aves perciben el dolor de manera diferente, además de que es necesario señalar que las fibras tipo C se encuentran en mayor cantidad en la piel en comparación con las fibras tipo A. Estas últimas se presentan en mayor proporción en tejido muscular y óseo (Corke, 2019; Gaynor y Muir, 2015), por lo que su posible función sería la transmisión de los estímulos inocuos y fríos (Olausson *et al.* 2007). Esta distribución permite explicar que si el tejido superficial o profundo es dañado, la percepción de dolor difiere por la velocidad de transmisión del impulso a través de las fibras periféricas, aunque se ha señalado que características como la edad, género y temperatura influyen en esta transmisión (Lawson *et al.*, 2019). Por otra parte, los estímulos nocivos que actúan sobre estructuras profundas como músculos, tendones, articulaciones, fascias y ligamentos también pueden ser captados por las fibras C y A, mientras que si el estímulo es recibido en tejido superficial como el pico, la señal nociceptiva solo será procesada por las fibras tipo C (Douglas *et al.*, 2018).

Aunque los estudios actuales muestran que las aves cuentan con nociceptores con funciones y umbrales de activación similares a la de los mamíferos, se requieren estudios adicionales para caracterizar las funciones del palio, que se indica como la estructura en las aves que aparentemente participaría en la percepción del dolor, cubriendo funciones como la corteza cerebral en los mamíferos. De igual manera, la falta de entendimiento del procesamiento nociceptivo ha llevado a obtener resultados poco confiables en el registro de la actividad cerebral, dado que no se tiene certeza de esta actividad en aves (Douglas *et al.* 2018; Rattenborg, 2006).

Adicionalmente, el reconocer que el dolor puede estar implícito durante el corte de pico, el abordaje de esta técnica con la adición de analgésicos (opioides, AINES, locales y adyuvantes) para disminuir

la percepción del dolor y sus consecuencias, podría ser otro medio para reducir la nocicepción derivada del daño a estructuras nerviosas localizadas en el pico (Abendschön *et al.* 2020; Saller *et al.* 2020).

El pico es una estructura sensible que cuenta con la innervación suficiente para captar las señales nocivas, de modo que una respuesta nociceptiva puede ser transducida, transmitida y modulada. De esta manera, la evidencia señala que el proceso nociceptivo en las aves ocurre de manera similar a los mamíferos, pero con la particularidad de transmitir el impulso nervioso más lento, lo que podría conferirle una cierta resiliencia al dolor.

Recorte de pico: factores y ventajas

El recorte del pico se ha discutido como una opción para evitar comportamientos no deseados dentro de las unidades de producción avícola como el picaje entre congéneres (Nordquist *et al.* 2017; Schwarzer *et al.* 2021) el cual se presenta con una incidencia del 5–7 % (Kaukonen y Valros, 2019). Riber y Hinrichsen (2017) mencionan que la calidad del plumaje aumenta si se realiza el recorte de pico (63.6% versus 15.2%), observaciones que son similares a las reportadas por Lee y Craig (1991) en 50 gallinas White Leghorn de 4 semanas de edad. En estos animales, el recorte de pico mejoró significativamente la condición de las plumas y se registró una menor incidencia de canibalismo. De igual forma, Cruvinel *et al.* (2022) evaluaron a 770 codornices japonesas en fase inicial y 630 de 36 días que fueron distribuidas al azar en siete tratamientos diferentes conforme al nivel de recorte del pico.

De acuerdo a los hallazgos discutidos, el recorte de pico se recomienda como un método para prevenir el picaje de plumas y mejorar la calidad de estas. No obstante, la presencia del picaje severo o canibalismo obedece a otros factores como el linaje y el nivel de población en la unidad de producción y no únicamente a la integridad del pico (Janczak y Riber, 2015; Nicol, 2018). Un ejemplo de esto es lo reportado por Allinson *et al.* (2013), quienes evaluaron el efecto del recorte del pico y el sexo sobre el picaje y el rendimiento en 540 pavos británicos de 1 día divididos en tres tratamientos en base al nivel de recorte (sin recorte, 1/4 del pico y 1/3 del pico). Los resultados indicaron que los pavos sin recorte registraron un mayor consumo de alimento, consumo de proteína y mayor conversión alimenticia. En contraste, en los animales con 1/4 y 1/3 de pico recortado se presentó mayor daño y picoteo. Schwarzer *et al.* (2021) menciona que, entre los factores relacionados al picaje severo en ocho granjas convencionales de aves en Alemania, el picaje severo se correlaciona de manera positiva con el número de gallinas por metro cuadrado ($r= 0.56$). Igualmente, el nivel de estrés de los animales influye en la presentación de picaje, ya que al comparar el comportamiento de las gallinas albergadas en gallineros con acceso a un jardín de invierno o a campo libre, se observó que el picaje se redujo significativamente. Por lo tanto, el recorte de pico no debería ser considerado como una solución a los problemas de picaje dentro de las unidades de producción avícola, sobre todo si se consideran las consecuencias que el despique genera.

Una de las alternativas que se recomiendan antes de elegir el recorte de pico es adoptar estrategias de enriquecimiento ambiental, mejoramiento de la nutrición y de las condiciones de alojamiento (p. ej., iluminación), las cuales han mostrado disminuir la frecuencia de picaje en unidades avícolas (Orihuela *et al.* 2018). Encuestas han mostrado que el 74% de productores considera que una apropiada iluminación, alimentación y enriquecimiento ambiental son factores que deben abordarse antes de decidir por el despique (Kaukonen y Valros, 2019). Por ejemplo, Colton y Fraley (2014) estudiaron el efecto del enriquecimiento ambiental con bolas de plástico estilo en patos pekineses y su efecto en el picaje. Se encontró que la frecuencia de autopicaje y picaje a congéneres se redujo en los animales que recibieron enriquecimiento ambiental.

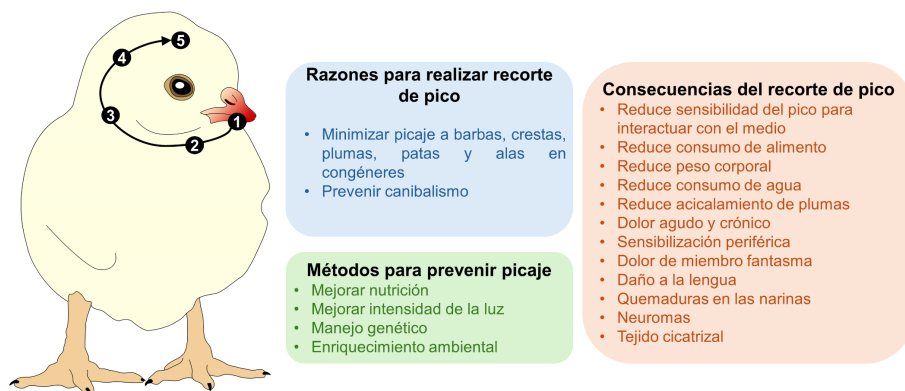
De igual forma, añadir objetos como piedras para picotear, grava, conchas de ostras, granos esparcidos en el sustrato, y juguetes redujo el daño a las plumas de la cola en 45 grupos de gallinas de huevo (Tahamtani *et al.*, 2022). En estas aves, se encontró una correlación moderada y negativa ($r = -0.43$) entre la cantidad de plumas dañadas y la cantidad de piedras de grava proporcionadas, concluyendo que emplear la grava como enriquecimiento físico tiene efectos significativos para reducir el picaje, sobre todo cuando se proporciona a las aves de 16–20 semanas de edad. El añadir objetos que les ayuden a cubrir sus necesidades biológicas como los baños de arena y perchas pueden ayudar a disminuir la presencia del picaje de plumas o el canibalismo, ya que éstos se asocian a estrés o frustración cuando los animales no son provistos de sustratos que les permitan realizar su repertorio conductual (Dixon *et al.*, 2010; Schwarzer *et al.*, 2021; van Staaveren *et al.*, 2021). Como lo menciona van Staaveren *et al.* (2021) en su revisión sistemática, una mayor incidencia de daño a las plumas por picaje se observa en aves ponedoras a las que no les ha proporcionado enriquecimiento a temprana edad y que son alojadas en jaulas. Asimismo, según Guesdon *et al.* (2006) el uso de jaulas enriquecidas en esta especie puede reducir levemente el canibalismo y el porcentaje de huevos rotos en gallinas de postura. Pero, en el caso del daño sobre el plumaje se informa que el enriquecimiento no tiene un efecto similar a los observado con el recorte de pico en la semana 43 de producción (Hartcher *et al.* 2015). No obstante, aunque las estrategias de enriquecimiento reducen el daño al plumaje (un aproximado de -0.14 ± 0.06 en una escala del 1 al 4), es importante abordar el problema del picaje implementando mejoras al ambiente y manejo de las aves (van Staaveren *et al.* 2021).

Por consiguiente, el beneficio principal del recorte de pico sería la reducción de la incidencia del picaje severo en las aves. Sin embargo, debido a que el picaje es una alteración del comportamiento multifactorial que considera componentes ambientales, emocionales y fisiológicos, adoptar estrategias como el enriquecimiento ambiental o la mejora de las instalaciones y el manejo animal deben ser consideradas como una estrategia para abordar el problema del picaje y prevenir su reaparición en las aves.

Consecuencias del despique

Al mismo tiempo que existen algunos beneficios con el recorte de pico, el mutilar una estructura altamente inervada con funciones sensoriales puede afectar el bienestar de los animales (Figura 3) (Riber y Hinrichsen, 2017; Ben-Mabrouk *et al.* 2022). El recorte de pico puede provocar cambios en el comportamiento, dolor agudo y disminución en el rendimiento productivo (Jendral y Robinson, 2004; Jongman *et al.* 2008). Además, se mencionan consecuencias menos tangibles como la intervención en la termorregulación, cambios en el comportamiento trófico y la defensa contra parásitos (Iqbal y Moss, 2021).

Figura 3. Ventajas y consecuencias del recorte de pico, así como los métodos para prevenir o reducir la presentación de picaje



1. Transducción; 2. Transmisión; 3. Modulación; 4. Proyección; y 5. Percepción.

El dolor ocasionado por el recorte de pico es una de las principales consecuencias. El recortar el pico de forma total o parcial genera un trauma a los nervios presentes, ocasionando una perturbación del potencial de acción de los nociceptores, mismos que provocan la percepción de dolor (Hernandez-Avalos *et al.* 2019). Un estudio enfocado en evaluar el efecto del recorte de pico sobre la actividad neuronal en gallinas adultas Brown Leghorn registró la actividad eléctrica de las fibras aferentes del nervio intra- mandibular, reportando el hallazgo de 192 unidades de fibras aferentes únicas, en las que 47 de ellas se clasificaron como nociceptores con patrón anormal de descarga y 89 con actividad anormal espontánea (Gentle, 1985). Lo cual demuestra que el pico, al presentar un complejo sistema neuronal, puede ocasionar dolor agudo o crónico, pero además el dolor inducido puede depender de la genética, las lesiones y

la propia edad realizada (Cheng, 2006). De hecho, un estudio electrofisiológico de la actividad neuronal en aves con el pico recortado mostró una sensibilidad reducida al calor y la presencia de descargas espontáneas anormales presentes durante tres meses posteriores al recorte debido al daño neuronal periférico (Breward, 1985).

La percepción de dolor por el acto de recortar el pico puede derivar en otras consecuencias en el comportamiento de las aves, como aumentar la inactividad, y mayor tiempo de vigilancia que puede ser asociado al dolor (Riber y Hinrichsen, 2017). Ejemplo de ello, es lo reportado en el pato almizclero y pekinés donde el recorte de pico generó que pasaran menos tiempo realizando comportamientos como acicalarse, alimentarse, beber y picotear con el pico, pero invertían más tiempo en descanso (Gustafson *et al.* 2007). Aunque hay estudios donde el recorte de pico no se ha asociado a una disminución en el consumo de alimento (Jongman *et al.* 2008), otros mencionan que la capacidad del ave para consumir el alimento se ve afectada por el dolor (Hester y Shea-Moore, 2003).

Este aspecto ha sido considerado por autores como Ben-Mabrouk *et al.* (2022), quienes evaluaron a 10 gallinas en jaula para valorar el efecto del recorte de pico y la inclusión de cáscara de avena sobre el rendimiento del crecimiento, preferencia alimenticia y comportamiento de picoteo exploratorio. El corte de pico redujo el consumo de alimento e incrementó la mortalidad de los animales sin afectar la ganancia de peso. La inclusión de cáscara de avena mejoró la uniformidad de la ganancia de peso, además de que se pudo observar que las gallinas a las que se realizó el recorte de pico prefirieron partículas gruesas en comparación a los animales con pico entero. Estos resultados muestran los cambios en la preferencia del alimento debido al recorte de pico e incluso a la forma de sostener el alimento que debe ser considerado en la unidad de producción (Yamauchi *et al.* 2017).

En resumen, la consecuencia principal del recorte de pico es el dolor ocasionado por el trauma directo a los nervios que rodean esta estructura. A partir de la percepción de este signo se puede tener un impacto sobre el comportamiento natural debido a que ocasiona adinamia, reducción de la conducta exploratoria y cambios en los comportamientos de alimentación, los cuales ocurren como una adaptación de la forma del pico para recoger el alimento. Esto demostraría que las consecuencias tienen un impacto negativo en el bienestar de las aves y que no son razones que justifiquen seguir con esta práctica.

CONCLUSIONES

El pico es una estructura con una densa inervación la cual le otorga la propiedad de ser una región en la cual se pueden percibir estímulos dolorosos. Aunque el procesamiento del dolor difiere entre los mamíferos y las aves, la presencia de estructuras como el palio y la relación de las fibras tipo C y A sugieren que esta especie es capaz de percibir dolor.

El despique ha mostrado generar alteraciones fisiológicas como es la modificación en la termorregulación y la alimentación, pudiendo reducir el consumo de alimento después del recorte de pico debido a dolor agudo/crónico o a la sensibilización. Aunque el recorte de pico se emplea como un método preventivo contra el autopicaje o las agresiones a congéneres, se necesita considerar que el picaje es una alteración multifactorial que responde a factores ambientales, de salud y manejo. Por ello, la implementación de mejoras en los alojamientos de las aves y la adición de enriquecimiento ambiental debe ser considerado como primera alternativa para abordar el picaje y reducir las posibles consecuencias y dolor que el recorte de pico puede generar en las aves. Siempre resultará más efectivo prevenir los problemas de conductas atípicas o aberrantes abordando las necesidades biológicas fundamentales de los animales y tratando las causas subyacentes, en lugar de simplemente mitigar las consecuencias. Resulta inadmisibles considerar que en caso de autolesiones con los colmillos, se deba proceder con su limado o amputación; que ante comportamientos agresivos como el corneado, se deban remover los cuernos; o que en situaciones de autolesión como el mordisqueo de la cola, se deba optar por su amputación. Asimismo, frente a fenómenos como el picaje de huevos, el picaje de plumas o el canibalismo, recurrir al recorte del pico no es una solución justificada sin una evaluación exhaustiva de las causas subyacentes y alternativas más éticas. Las prácticas rutinarias que infligen dolor en los animales de granja no deben ser ni toleradas ni justificadas. En la actualidad, acciones tales como el descolmillado, la caudectomía, la castración y el descornado sin el uso de anestesia, así como el recorte de picos, ya han sido prohibidas en numerosos países europeos debido a su calificación como maltrato animal. Es importante destacar que el alto rendimiento productivo de los animales no siempre se traduce en un nivel equivalente de bienestar. Si bien el aumento de la productividad animal es un objetivo prioritario para los productores, este debe ser alcanzado respetando plenamente los derechos y el bienestar de los animales, nunca a expensas de estos últimos. Es esencial recurrir a la etología como una herramienta para mejorar la productividad, mientras se evitan prácticas dolorosas que, de lo contrario, podrían ser empleadas para justificar la ineficacia y la falta de conocimiento por parte de los productores. En consecuencia, aunque el recorte de picos pueda ser percibido como la alternativa más conveniente en términos de facilidad, coste y rapidez para prevenir el picaje, es esencial tener en cuenta las posibles repercusiones que pueden surgir tras la intervención, como la disminución en la ingesta de alimento o cambios en el comportamiento atribuibles al dolor.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, A. B., y King, A. S., 1982, “The unmyelinated fibre spectrum of the avian cervical vagus nerve” *Journal of Anatomy*, 134(1):85–89.
- Abendschön, N., Senf, S., Deffner, P., Miller, R., Grott, A., Werner, J., Saller, A. M., Reiser, J., Weiß, C., Zablotski, Y., Fischer, J., Bergmann, S., Erhard, M. H., Baumgartner, C., Ritzmann, M., y Zöls, S., 2020, “Local Anesthesia in Piglets Undergoing Castration—A Comparative Study to Investigate the Analgesic Effects of Four Local Anesthetics Based on Defensive Behavior and Side Effects” *Animals*, 10(10):1752. <https://doi.org/10.3390/ani10101752>
- Allinson, I. B., Ekunseitan, D. A., Ayoola, A. A., Iposu, S. O., Idowu, O. M. O., Ogunade, I. M., y Osho, S. O., 2013, “Effects of Beak Amputation and Sex on the Pecking Rate Damage and Performance Parameters of Turkey”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16(19):1022–1027. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.1022.1027>
- Apkarian, A. V., 2019, “Definitions of nociception, pain, and chronic pain with implications regarding science and society”, *Neuroscience Letters*, 702:1–2. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.11.039>
- Baker, P. E., Nicol, C. J., & Weeks, C. A., 2022, “The Effect of Hard Pecking Enrichment during Rear on Feather Cover, Feather Pecking Behaviour and Beak Length in Beak-Trimmed and Intact-Beak Laying Hen Pullets”, *Animals*, 12(6):674. <https://doi.org/10.3390/ani12060674>
- Bell, A., 2018, “The neurobiology of acute pain”, *The Veterinary Journal*, 237:55–62. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.004>
- Ben-Mabrouk, J., Mateos, G. G., de Juan, A. F., Aguirre, L., y Cámara, L., 2022, “Effect of beak trimming at hatch and the inclusion of oat hulls in the diet on growth performance, feed preference, exploratory pecking behavior, and gastrointestinal tract traits of brown-egg pullets from hatch to 15 weeks of age”, *Poultry Science*, 101(9):102044. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102044>
- Breward, J., 1985, “An Electrophysiological Investigation of the Effects of Beak Trimming in the Domestic Fowl (*Gallus gallus domesticus*)”, University of Edinburgh.
- Bright, J. A., Marugán-Lobón, J., Cobb, S. N., y Rayfield, E. J., 2016, “The shapes of bird beaks are highly controlled by nondietary factors”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(19):5352–5357. <https://doi.org/10.1073/pnas.1602683113>
- Bright, J. A., Marugán-Lobón, J., Rayfield, E. J., y Cobb, S. N., 2019, “The multifactorial nature of beak and skull shape evolution in parrots and cockatoos (Psittaciformes)”, *BMC Evolutionary Biology*, 19(1):104. <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1432-1>
- Broom, D., 2019, “Sentience”, en J. Choe (ed.), *Encyclopedia of Animal Behavior*, Academic Press, USA, 131–133.
- Cheng, H., 2006, “Morphopathological changes and pain in beak trimmed laying hens”, *World's Poultry Science Journal*, 62:41–52. <https://doi.org/10.1079/WPS200583>

- Colton, S., y Fraley, G. S., 2014, "The effects of environmental enrichment devices on feather picking in commercially housed Pekin ducks", *Poultry Science*, 93(9):2143–2150. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03885>
- Corke, M. J., 2019, "Indicators of Pain", en J. Choe, (ed.), *Encyclopedia of Animal Behavior*, Academic Press, USA, 147–152.
- Cristina-Silva, C., Amaral-Silva, L., Santos, K. M., Correa, G. M., da Silva, W. C., Fernandes, M. H. M. R., da Silva, G. S. F., Gargaglioni, L. H., Almeida, M. C., y Bicego, K. C., 2022, "Cutaneous TRPV4 Channels Activate Warmth-Defense Responses in Young and Adult Birds", *Frontiers in Physiology*, 13:892828. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.892828>
- Cronin, G. M., y Glatz, P. C., 2020, "Causes of feather pecking and subsequent welfare issues for the laying hen: a review", *Animal Production Science*, 61(10):990–1005. <https://doi.org/10.1071/AN19628>
- Cruvinel, J. M., Montenegro, A. T., Ouros, C. C. dos, Alves, K. de S., Ribeiro, G. C., Santos, T. S. dos, Molino, A. de B., y Garcia, E. A., 2022, "Beak trimming in japanese quails at initial phase is an alternative to reduce the negative effects of feather pecking", *Animal Sciences*, 44:e54129. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v44i1.54129>
- Dixon, L. M., Duncan, I. J. H., y Mason, G., 2008, "What's in a peck? Using fixed action pattern morphology to identify the motivational basis of abnormal feather-pecking behaviour", *Animal Behaviour*, 76(3):1035–1042. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2008.06.001>
- Dixon, L. M., Duncan, I. J. H., y Mason, G. J., 2010, "The effects of four types of enrichment on feather-pecking behaviour in laying hens housed in barred environments", *Animal Welfare*, 19(4):429–435.
- Douglas, J. M., Sanchez-Migallon Guzman, D., y Paul-Murphy, J. R., 2018, "Pain in Birds", *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 21(1):17–31. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2017.08.008>
- Ellison, D. L., 2017, "Physiology of Pain", *Critical Care Nursing Clinics of North America*, 29(4):397–406. <https://doi.org/10.1016/j.cnc.2017.08.001>
- Fahey, A. G., Marchant-Forde, R. M., y Cheng, H. W., 2007, "Relationship Between Body Weight and Beak Characteristics in One-Day-Old White Leghorn Chicks: Its Implications for Beak Trimming", *Poultry Science*, 86(7):1312–1315. <https://doi.org/10.1093/ps/86.7.1312>
- Fijn, L. B., Staay, F. J. van der, Goerlich-Jansson, V. C., y Arndt, S. S., 2020, "Importance of Basic Research on the Causes of Feather Pecking in Relation to Welfare", *Animals*, 10(2):213. <https://doi.org/10.3390/ANI10020213>
- Friedman, N. R., Miller, E. T., Ball, J. R., Kasuga, H., Remeš, V., y Economo, E. P., 2019, "Evolution of a multifunctional trait: shared effects of foraging ecology and thermoregulation on beak mor-

- phology, with consequences for song evolution”, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1917):20192474. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.2474>
- Gascoigne, E., Moulard, C., y Lovatt, F., 2021, “Considering the 3Rs for castration and tail docking in sheep”, *In Practice*, 43(3):152–162. <https://doi.org/10.1002/inpr.29>
- Gaynor, J. S., y Muir, W. W., 2015, “Handbook of Veterinary Pain Management” Elsevier, Países Bajos.
- Gentle, M. B., 1985, “Neuroma formation and abnormal afferent nerve discharges after partial beak amputation (beak trimming) in poultry”, *Birkhäuser Verlag*, 41:1132–1134.
- Glatz, P. C., 2000, “Beak Trimming Methods - Review”, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 13(11):1619–1637. <https://doi.org/10.5713/ajas.2000.1619>
- Glatz, P. C., y Underwood, G., 2020, “Current methods and techniques of beak trimming laying hens, welfare issues and alternative approaches”, *Animal Production Science*, 61(10):968–989. <https://doi.org/10.1071/AN19673>
- Guesdon, V., Ahmed, A. M. H., Mallet, S., Faure, J. M., y Nys, Y., 2006, “Effects of beak trimming and cage design on laying hen performance and egg quality”, *British Poultry Science*, 47(1):1–12. <https://doi.org/10.1080/00071660500468124>
- Guinebretière, M., Mika, A., Michel, V., Balaine, L., Thomas, R., Keïta, A., y Pol, F., 2020, “Effects of Management Strategies on Non-Beak-Trimmed Laying Hens in Furnished Cages that Were Reared in a Non-Cage System”, *Animals*, 10(3):399. <https://doi.org/10.3390/ani10030399>
- Güntürkün, O., von Eugen, K., Packheiser, J., y Pusch, R., 2021, “Avian pallial circuits and cognition: A comparison to mammals”, *Current Opinion in Neurobiology*, 71:29–36. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2021.08.007>
- Gustafson, L. A., Cheng, H.-W., Garner, J. P., Pajor, E. A., y Mench, J. A., 2007, “The Effects of Different Bill-Trimming Methods on the Well-Being of Pekin Ducks”, *Poultry Science*, 86(9):1831–1839. <https://doi.org/10.1093/ps/86.9.1831>
- Hardy, J., 2002, “Pain Management—a Practical Guide for Clinicians”, CRC Press, USA.
- Hartcher, K. M., Tran, K. T. N., Wilkinson, S. J., Hemsworth, P. H., Thomson, P. C., y Cronin, G. M., 2015, “The effects of environmental enrichment and beak-trimming during the rearing period on subsequent feather damage due to feather-pecking in laying hens”, *Poultry Science*, 94(5):852–859. <https://doi.org/10.3382/ps/pev061>
- Henderson, S. N., Barton, J. T., Wolfenden, A. D., Higgins, S. E., Higgins, J. P., Kuenzel, W. J., Lester, C. A., Tellez, G., y Hargis, B. M., 2009, “Comparison of beak-trimming methods on early broiler breeder performance”, *Poultry Science*, 88(1):57–60. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00104>
- Hernandez-Avalos, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Martínez-Burnes, J., Casas Alvarado, A., Verduzco-Mendoza, A., Lezama-García, K., y Olmos-Hernandez, A., 2019, “Review of different methods used for clinical recognition and assessment of pain in dogs and cats”, *International*

- Journal of Veterinary Science and Medicine*, 7(1):43–54. <https://doi.org/10.1080/23144599.2019.1680044>
- Hester, P. Y., y Shea-Moore, M., 2003, “Beak trimming egg-laying strains of chickens”, *World’s Poultry Science Journal*, 59(4):458–474. <https://doi.org/10.1079/WPS20030029>
- Huber-Eicher, B., y Wechsler, B., 1997, “Feather pecking in domestic chicks: its relation to dustbathing and foraging”, *Animal Behaviour*, 54(4):757–768. <https://doi.org/10.1006/anbe.1996.0506>
- International Committee Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, 2017, *Nomina Anatómica Veterinaria*, 160.
- Iqbal, A., y Moss, A. F., 2021, “Review: Key tweaks to the chicken’s beak: the versatile use of the beak by avian species and potential approaches for improvements in poultry production”, *Animal*, 15(2):100119. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100119>
- Janczak, A. M., y Riber, A. B., 2015, “Review of rearing-related factors affecting the welfare of laying hens”, *Poultry Science*, 94:1454–1469. <https://doi.org/10.3382/ps/pev123>
- Jendral, M. J., y Robinson, F. E., 2004, “Beak trimming in chickens: historical, economical, physiological and welfare implications, and alternatives for preventing feather pecking and cannibalistic activity”, *Avian and Poultry Biology Reviews*, 15(1):9–23. <https://doi.org/10.3184/147020604783637444>
- Jongman, E. C., Glatz, P. C., y Barnett, J. L., 2008, “Changes in behaviour of laying hens following beak trimming at hatch and re-trimming at 14 weeks”, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(2):291–298. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.60152>
- Kaukonen, E., y Valros, A., 2019, “Feather Pecking and Cannibalism in Non-Beak-Trimmed Laying Hen Flocks—Farmers’ Perspectives”, *Animals*, 9(2):43. <https://doi.org/10.3390/ani9020043>
- Kim, Y. S., Son, J. Y., Kim, T. H., Paik, S. K., Dai, Y., Noguchi, K., Ahn, D. K., y Bae, Y. C., 2010, “Expression of transient receptor potential ankyrin 1 (TRPA1) in the rat trigeminal sensory afferents and spinal dorsal horn”, *Journal of Comparative Neurology*, 518(5):687–698. <https://doi.org/10.1002/cne.22238>
- Lamont, L. A., 2008, “Multimodal Pain Management in Veterinary Medicine: The Physiologic Basis of Pharmacologic Therapies”, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 38(6):1173–1186. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2008.06.005>
- Lawson, S. N., Fang, X., y Djouhri, L., 2019, “Nociceptor subtypes and their incidence in rat lumbar dorsal root ganglia (DRGs): focussing on C-polymodal nociceptors, A β -nociceptors, moderate pressure receptors and their receptive field depths”, *Current Opinion in Physiology*, 11:125–146. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2019.10.005>
- Lee, H.-Y., y Craig, J. V., 1991, “Beak Trimming Effects on Behavior Patterns, Fearfulness, Feathering, and Mortality Among Three Stocks of White Leghorn Pullets in Cages or Floor Pens”, *Poultry Science*, 70(2):211–221. <https://doi.org/10.3382/ps.0700211>

- Li, J., Chen, H., Dai, C., Sa, R., Wang, Z., Wang, J., Su, H., He, X., Guo, X., y Jiang, R., 2020, “Effects of beak trimming on the performance, beak length, behavior, and carcass traits of a local broiler breed reared in battery cages”, *Animal Science Journal*, 91(1):e13405. <https://doi.org/10.1111/asj.13405>
- Lunam, C. A., 2005, “The anatomy an innervation of the of the chicken beak: effects of trimming and re-trimming”, en Glatz, P. C., (ed.), *Poultry welfare issues: beak trimming* (pp. 51–68). Nottingham University Press, Reino Unido.
- Machin, K. L., 2014, “Recognition and Treatment of Pain in Birds”, en *Pain Management in Veterinary Practice*, John Wiley & Sons, USA, 407–415. <https://doi.org/10.1002/9781118999196.ch37>
- Malik, A., y Valentine, A., 2018, “Pain in birds: a review for veterinary nurses”, *Veterinary Nursing Journal*, 33(1):11–25. <https://doi.org/10.1080/17415349.2017.1395304>
- Mens, A. J. W., van Krimpen, M. M., y Kwakkel, R. P., 2020, “Nutritional approaches to reduce or prevent feather pecking in laying hens: any potential to intervene during rearing?”, *World’s Poultry Science Journal*, 76(3):591–610. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1772024>
- Morrison, R., y Hemsforth, P., 2020, “Tail Docking of Piglets 1: Stress Response of Piglets to Tail Docking”, *Animals*, 10(9):1701. <https://doi.org/10.3390/ani10091701>
- Mota-Rojas, D., Ceballos, M. C., Orihuela, A., 2016, “Prácticas dolorosas en animales de granja”, en *Bienestar animal, una visión global en Iberoamérica*, B.M. Editores, México, 137–154.
- Naser, A., Albadrany, Y., y Shaaban, K., 2021, “Methods of Pain Assessment in Chicks as a Model”, *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 52(2):241–249. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2021.64605.1219>
- Nickel, R., Schummer, A., y Sieferle, E., 1977, “Anatomy of the Domestic Birds”, Verlag Paul Parey, Alemania.
- Nicol, C., 2018, “Feather pecking and cannibalism”, en J. A. Mench (ed.), *Advances in Poultry Welfare*, Woodhead Publishing, USA, 175–197.
- Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Canali, E., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Gonzales Rojas, J. L., Gortázar Schmidt, C., Herskin, M., Miranda Chueca, M. Á., Padalino, B., Pasquali, P., Roberts, H. C., Spooler, H., Stahl, K., Velarde, A., Viltrop, A., Winckler, C., Michel, V., 2023, “Welfare of laying hens on farm”, *EFSA Journal*, 21(2):e07789. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7789>
- Nordquist, R., van der Staay, F., van Eerdenburg, F., Velkers, F., Fijn, L., y Arndt, S., 2017, “Mutilating procedures, management practices, and housing conditions that may affect the welfare of farm animals: Implications for welfare research”, *Animals*, 7:12. <https://doi.org/10.3390/ani7020012>
- Olausson, H., Cole, J., Rylander, K., McGlone, F., Lamarre, Y., Wallin, B. G., Krämer, H., Wessberg, J., Elam, M., Bushnell, M. C., y Vallbo, Å., 2007, “Functional role of unmyelinated tactile affe-

- rents in human hairy skin: sympathetic response and perceptual localization”, *Experimental Brain Research*, 184(1):135–140. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1175-x>
- Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Velarde, A., Strappini-Asteggiano, A., Thielo de la Vega, L., Borderas-Tordesillas, F., Alonso-Spilsbury, M., 2018, “Environmental enrichment to improve behaviour in farm animals”, *CAB Reviews*, 13(059):1–25, <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201813059>
- Papini, M. R., Penagos-Corzo, J. C., y Pérez-Acosta, A. M., 2019, “Avian Emotions: Comparative Perspectives on Fear and Frustration”, *Frontiers in Psychology*, 9:2707. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02707>
- Perl, E. R., 2007, “Ideas about pain, a historical view”, *Nature Reviews Neuroscience*, 8(1):71–80. <https://doi.org/10.1038/nrn2042>
- Pizzolante, C., Garcia, E., Saldanha, E., Laganá, C., Faitarone, A., Souza, H., y Pelicia, K., 2007, “Beak trimming methods and their effect on the performance and egg quality of Japanese quails (*Coturnix japonica*) during lay”, *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 9(1):17–21. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2007000100003>
- Rattenborg, N. C., 2006, “Evolution of slow-wave sleep and palliopallial connectivity in mammals and birds: A hypothesis”, *Brain Research Bulletin*, 69(1):20–29. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2005.11.002>
- Riber, A. B., y Hinrichsen, L. K., 2017, “Welfare Consequences of Omitting Beak Trimming in Barn Layers”, *Frontiers in Veterinary Science*, 4:222. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00222>
- Ritchie, M., 2014, “Neuroanatomy and Physiology of the Avian Hypothalamic/Pituitary Axis”, *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 17(1):13–22. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2013.09.005>
- Saller, A. M., Werner, J., Reiser, J., Senf, S., Deffner, P., Abendschön, N., Weiß, C., Fischer, J., Schörwerth, A., Miller, R., Zablotki, Y., Bergmann, S., Erhard, M. H., Ritzmann, M., Zöls, S., y Baumgartner, C., 2020, “Local anesthesia in piglets undergoing castration—A comparative study to investigate the analgesic effects of four local anesthetics on the basis of acute physiological responses and limb movements”, *PLOS ONE*, 15(7):e0236742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236742>
- Sandercock, D. A., 2004, “Putative nociceptor responses to mechanical and chemical stimulation in skeletal muscles of the chicken leg”, *Brain Research Reviews*, 46(2):155–162. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2004.07.020>
- Sandilands, V., Savory, C. J., 2002, “Ontogeny of behaviour in intact and beak trimmed layer pullets, with special reference to preening”, *British Poultry Science*, 43(2):182–189. <https://doi.org/10.1080/00071660120121373>
- Saxod, R., 1988, “Morphogenetic interactions in the Development of Avian Cutaneous Sensory Receptors”, en Hník, P., Soukup, T., Vejsada, R., y Zelená, J., (eds.), *Mechanoreceptors* Springer, USA, 3–4.

- Schneider, E. R., Anderson, E. O., Mastrotto, M., Matson, J. D., Schulz, V. P., Gallagher, P. G., LaMotte, R. H., Gracheva, E. O., y Bagriantsev, S. N., 2017, “Molecular basis of tactile specialization in the duck bill”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(49):13036–13041. <https://doi.org/10.1073/pnas.1708793114>
- Schwarzer, A., Plattner, C., Bergmann, S., Rauch, E., Erhard, M., Reese, S., y Louton, H., 2021, “Feather Pecking in Non-Beak-Trimmed and Beak-Trimmed Laying Hens on Commercial Farms with Aviaries”, *Animals*, 11(11):3085. <https://doi.org/10.3390/ani11113085>
- Soliman, S. A., y Madkour, F. A., 2017, “A comparative analysis of the organization of the sensory units in the beak of duck and quail”, *Histology and Cytology Embriology*, 1:1–9.
- Speer, B., y Powers, L. V., 2016, “Anatomy and Disorders of the Beak and Oral Cavity of Birds”, *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 19(3):707–736. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2016.04.003>
- Steagall, P. V., Bustamante, H., Johnson, C. B., y Turner, P. V., 2021, “Pain Management in Farm Animals: Focus on Cattle, Sheep and Pigs”, *Animals*, 11(6):1483. <https://doi.org/10.3390/ani11061483>
- Tahamtani, F. M., Kittelsen, K., y Vasdal, G., 2022, “Environmental enrichment in commercial flocks of aviary housed laying hens: relationship with plumage condition and fearfulness”, *Poultry Science*, 101(4):101754. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101754>
- Tattersall, G. J., Andrade, D. V., y Abe, A. S., 2009, “Heat Exchange from the Toucan Bill Reveals a Controllable Vascular Thermal Radiator”, *Science*, 325(5939):468–470. <https://doi.org/10.1126/science.1175553>
- van Staaveren, N., Ellis, J., Baes, C. F., y Harlander-Matauschek, A., 2021, “A meta-analysis on the effect of environmental enrichment on feather pecking and feather damage in laying hens”, *Poultry Science*, 100(2):397–411. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.006>
- Yamauchi, Y., Yoshida, S., Matsuyama, H., Obi, T., y Takase, K., 2017, “Morphologically abnormal beaks observed in chickens that were beak-trimmed at young ages”, *Journal of Veterinary Medical Science*, 79:1466–1471. <https://doi.org/10.1292/jvms.17-0287>

Acercamiento al estado de la soberanía alimentaria en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur, en el suroeste del estado de Jalisco

Peter Rijnaldus Wilhelmus Gerritsen¹ y Marisol Terrones Rojas²

Resumen. La soberanía alimentaria es un derecho para garantizar el bienestar social, buscando el acceso colectivo a suficientes alimentos sanos. Este estudio analiza el grado de soberanía alimentaria en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur del estado de Jalisco, distinguiendo entre los cultivos alimentarios y no alimentarios. Se coleccionaron datos de estadística de producción agrícola, relacionados con el número de cultivos, la superficie sembrada, el volumen de producción, el rendimiento y el valor de producción. Se realizó un análisis intra e interregional haciendo una comparativa en tres años: 2003, 2010 y 2019. El resultado del análisis interregional indica una dominancia de cultivos no alimentarios en las dos regiones. En el análisis intrarregional obtuvimos que aproximadamente la mitad de los municipios de cada región tienen baja soberanía alimentaria. A manera de conclusión recalcamos la importancia de redes regionales y municipales en las que se fortalezca la producción de alimentos con capacidad de autoabastecerse.

Palabras clave: Soberanía alimentaria, Jalisco, Cultivos alimentarios, Cultivos no alimentarios.

Abstract. Food sovereignty is a right to guarantee social well-being, seeking collective access to sufficient healthy food. This study analyzes the degree of food sovereignty in the Sierra de Amula and Costa Sur regions of the state of Jalisco, distinguishing between food and non-food crops. Agricultural production statistics data were collected, related to the number of crops, the planted area, production volume, yield, and production value. An intra- and inter-regional analysis was carried out, making a comparison in three different years: 2003, 2010 and 2019. As a result, the inter-regional analysis indicates a dominance of non-

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, e-mail: peter.gerritsen@academicos.udg.mx

² Estudiante de la Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, e-mail: marisol.terrones4093@alumnos.udg.mx

food crops in the two regions. In the intraregional analysis we obtained that approximately half of the municipalities in each region have low food sovereignty. In conclusion, we emphasize the importance of regional and municipal networks in which food production is strengthened with the capacity to be self-sufficient.

Keywords: *Food sovereignty, Jalisco, Food crops, Non-food crops.*

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha observado un crecimiento acelerado de la población global, principalmente en las ciudades, en donde sus habitantes demandan cada vez más alimentos a precios accesibles y disponibles en los centros de abastecimiento cercanos (Savia, 2014, ver también Gerritsen, 2021a). Es por ello, que los sistemas agroalimentarios se han modificado de un modelo familiar³ a un modelo agroindustrial, que tiene como único fin maximizar las ganancias (económicas), dejando a campesinos e indígenas fuera del mercado y privados de los recursos productivos básicos, como tierra, agua y semillas (Savia, 2014).

Lo anterior nos lleva al debate sobre la alimentación y su producción, y donde se ha discutido mucho sobre los temas de la seguridad, autosuficiencia y soberanía alimentaria. Primero, con el término de seguridad alimentaria se refiere al acceso a calidad y cantidad de alimentos. En este sentido, la Declaración de Roma 1996, menciona que la seguridad alimentaria se logra cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas y preferencias alimentarias diarias a fin de llevar una vida activa y sana (FAO, 1996).

Segundo, con el término de la autosuficiencia alimentaria se hace referencia al grado en el que un país es capaz de satisfacer sus necesidades alimentarias con su propia producción agropecuaria. Es decir, la producción nacional de alimentos es suficiente para abastecer a todos sus ciudadanos (FAO, 2014). En este sentido, Toledo (2000) menciona que los objetivos que se deben alcanzar para que una sociedad logre la autosuficiencia alimentaria son dos: obtener el máximo de productos con el mínimo esfuerzo invertido (energético y/o económico) y mantener esa producción al máximo a lo largo del tiempo, es decir, de manera sostenida.

³ Basado en principios similares al modelo agroecológico que permite mantener la sustentabilidad de los agroecosistemas a largo plazo (ver Remmers, 1993).

Por último, se hace referencia en el debate sobre la alimentación a la noción de la soberanía alimentaria, noción que tomaremos como punto de partida en el presente artículo, y que se refiere a la capacidad de un país o región de producir suficientes alimentos de calidad, tomando en cuenta elementos como cultura y defensa de territorio, entre otros. En 1996, La Vía Campesina, una red internacional de organizaciones campesinas y movimientos sociales, define el concepto de soberanía alimentaria como “el derecho de cada nación para mantener y desarrollar su propia capacidad para producir los alimentos básicos de los pueblos respetando la diversidad productiva y cultural. Tenemos el derecho a producir nuestros propios alimentos en nuestro propio territorio” (La Vía Campesina, 1996).

Con base en lo anterior, queda claro que para garantizar el bienestar alimentario de una población es necesario que tengan la capacidad para producir sus propios alimentos a partir de sus conocimientos y técnicas transgeneracionales; que la cantidad sea suficiente para satisfacer las necesidades de todos, a la vez que sean de buena calidad y que todos los integrantes tengan acceso a ellos.

No obstante, en México existe una situación contradictoria con relación a los hábitos alimenticios de sus ciudadanos. Por un lado, hay una gran cantidad de personas que sufren desnutrición, principalmente entre mujeres y niños indígenas, siendo uno de los problemas “viejos” del campo en México y que tiene varias décadas sin resolverse (Rivera *et al.*, 2012, Nuefeld, 2021). Por otro lado, hay un número importante de personas con sobrepeso u obesidad, siendo un problema relativamente nuevo para la sociedad mexicana. En este sentido, la producción de alimentos ultraprocesados ha aumentado exponencialmente, la cual está basada en productos poco saludables como lo son las harinas, azúcares y vegetales refinados, sin contar los cambios en los estilos de vida de las personas que traen consigo la reducción o nula actividad física (Valdez-Morales *et al.*, 2016).

La obesidad, sobrepeso y enfermedades relacionadas como la diabetes y la hipertensión en México son las consecuencias de la mala alimentación de la sociedad mexicana, que en la mayoría de las veces ocurre por falta de información adecuada acerca del contenido nutrimental de lo que consumen, o por mera ignorancia sobre la frecuencia de ingesta de ciertos productos (Aguirre-Becerra *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que la pandemia del COVID-19 ha tenido un fuerte impacto en el cambio de hábitos alimenticios. El estudio de Rodríguez *et al.* (2021) sobre los cambios de alimentación en hogares mexicanos durante la pandemia, indica que el 59.2% de los hogares estudiados se encontraban en alguna categoría de inseguridad alimentaria (leve, moderada o severa), en donde el 39.5 % de los hogares presentó cambios negativos, es decir, aumentó el consumo de alimentos no recomendables. Entre los hogares que presentaron cambios negativos en la alimentación, 66% reportaron disminución en el consumo de carnes y pescados y más del 50% disminuyó la ingesta de frutas y verduras. Esto nos demuestra lo inestable que son los sistemas agroalimentarios en cuanto a la competencia con los alimentos procesados.

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación es acercarnos al entendimiento del estado de la soberanía alimentaria en dos regiones en el Occidente de México, es decir, en las regiones

Sierra de Amula y Costa Sur del estado de Jalisco, distinguiendo entre cultivos alimentarios y no alimentarios producidos en ambas regiones, y comparar cómo han evolucionado en el período de 2003 a 2019. A continuación, primero presentamos una aproximación de los puntos clave de nuestro marco de interpretación que facilitarán la comprensión de esta investigación, para posteriormente seguir con el diseño y la metodología aplicada en este estudio en la cual exponemos las características de la zona de estudio y cómo fue que trabajamos los datos para lograr el objetivo mencionado. Presentamos los resultados obtenidos junto con los análisis comparativos inter e intrarregionales de las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco. Finalizamos con una discusión y conclusiones sobre el tema de la soberanía alimentaria.

Algunas nociones teóricas

El modelo productivo, desde el inicio de la agricultura hace miles de años hasta como la conocemos hoy en día, ha ido evolucionando a la par de la humanidad. En otras palabras, la historia de las civilizaciones está estrechamente relacionada con el desarrollo de la agricultura, en donde hemos sido testigos de múltiples cambios a lo largo de la historia de la producción de alimentos y cómo los consumimos. Un claro ejemplo es el cambio de nómadas a sedentarios, marcado por la recolección de frutos y semillas que dieron paso a las primeras prácticas agrícolas (Robledo, 2014).

Los sistemas agroalimentarios se refieren al conjunto de las actividades destinadas a la producción, el procesamiento y la distribución de productos alimentarios, cumpliendo con el objetivo de brindar alimentos a una sociedad determinada (SADER, 2021). Estos sistemas han venido experimentando un proceso de transformación en la manera en que se producen, procesan y comercializan los alimentos. Hoy en día, predominan los sistemas agroalimentarios basados en la agricultura agroindustrial que tuvo sus inicios a partir de la revolución verde en la década de los 60's, cuando la producción de alimentos en el cultivo de una sola especie (monocultivos) sobre extensas superficies, que se mantienen gracias a grandes insumos energéticos y económicos (implementación de maquinaria, uso de fertilizantes, agroquímicos, organismos genéticamente modificados, entre otros) (Toledo *et al.*, 2000).

La mayoría de estos cambios están asociados con la globalización y la inversión financiera extranjera en la producción de alimentos, principalmente (ultraprocesados). La combinación de dichos factores ha dado lugar a la aparición de nuevos actores en la circulación de los sistemas agroalimentarios, como lo son las agroindustrias, grandes empresas exportadoras y las redes de supermercados, entre otros (Graziano da Silva *et al.*, 2021).

Cabe mencionar que México y otros países de Latinoamérica se caracterizan por tener una dualidad en términos de los sistemas de producción, existiendo a la par, sistemas de producción de orden campesina e indígena (o tradicional) y sistemas con elementos agroindustriales. Albacete *et al.* (2021)

mencionan que el sistema tradicional se distingue por la organización en cadenas cortas de comercialización, en donde los pequeños productores abastecen a intermediarios y vendedores en mercados de menor escala. Al contrario, en el sistema agroindustrial y frecuentemente de orden globalizado, se observa que los supermercados se convierten en los principales proveedores de alimentos al adquirir sus productos directamente de mayoristas especializados que se aprovisionan de productores altamente comerciales a nivel nacional e internacional coordinados mediante estándares de calidad y contratos.⁴

Soberanía alimentaria

Como ya mencionamos, partimos en este artículo del concepto de soberanía alimentaria para entender la capacidad productiva de alimentos en una determinada región. Como ya expusimos, el concepto de soberanía alimentaria fue propuesto por La Vía Campesina, en donde ofrece una alternativa a las políticas neoliberales, las cuales priorizan el comercio internacional y no la alimentación de los pueblos (La Vía Campesina, 2003). Es a partir de ello que eventualmente este concepto se fue reforzando y obteniendo un lugar más importante en los debates sobre la alimentación (Ortega y Rivera, 2010).

Al término de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación en 1996, Organizaciones no gubernamentales (ONG) y Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC) presentes, adoptaron una declaración llamada “Beneficios para unos o alimentos para Todos”. Aquí se aseguraba que las medidas y actividades previstas en el plan de acción no serían suficientes para lograr el objetivo de la reducción de personas con hambre en el mundo. Para ello, el modelo propuesto se basó en la descentralización, respondiendo a los retos del modelo actual, que se basa en la concentración de riqueza y poder, y que ahora amenaza a la seguridad alimentaria global, la diversidad cultural y los propios ecosistemas que sustentan la vida en el planeta (ONG y OSC, 1996). La soberanía alimentaria se basa en consecuencia sobre seis pilares (FAO, 2007):

- Se centra en alimentos para las personas: impone el derecho a una alimentación suficiente, saludable y apropiada, sobre todo a aquellos que viven en zonas de conflicto o marginadas.

⁴ Analítica y empíricamente, se puede distinguir también un sistema transicional o mixto en el cual coexisten los sistemas tradicionales y agroindustriales, es decir, hay cadenas híbridas en donde los actores modernos intervienen en mercados de pequeña escala y hay productores pequeños que se relacionan directa o indirectamente con mayoristas especializados (Gerritsen, 2010, 2021b).

- Valores de los proveedores de alimentos: Apoya y respeta las contribuciones de todos los proveedores de alimentos y los modos de vida sostenible.
- Localiza los sistemas alimentarios: Reduce la distancia entre proveedores y consumidores de alimentos; de igual modo protege a los proveedores del *dumping* de alimentos (vender un producto por debajo de su coste) y protege a los consumidores de alimentos de mala calidad y poco saludables.
- Sitúa el control a nivel local: Pone en manos de los productores locales la distribución de alimentos y respeta sus derechos; también hace referencia al uso compartido de los territorios para un bien común y está en contra de la privatización de los recursos naturales.
- Promueve el conocimiento y las habilidades: Se basa en los conocimientos, habilidades de productores locales y sus organizaciones que conservan y desarrollan sistemas de producción de alimentos de manera tradicional. Está en contra de del uso de tecnología que amenazan los sistemas alimentarios locales.
- Es compatible con la naturaleza: Aprovecha al máximo las contribuciones de la naturaleza, utiliza métodos de producción agroecológicos y rechaza los métodos que dañan al ecosistema como los monocultivos industrializados y otros métodos destructivos.

Diseño del estudio

El estudio cuyos resultados presentamos en el este artículo se realizó en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur en el suroeste del Estado de Jalisco. El objetivo general de nuestro estudio es comprender el contexto alimentario en ambas regiones y como ha ido cambiando este contexto a lo largo del tiempo, como ya mencionamos en la introducción.

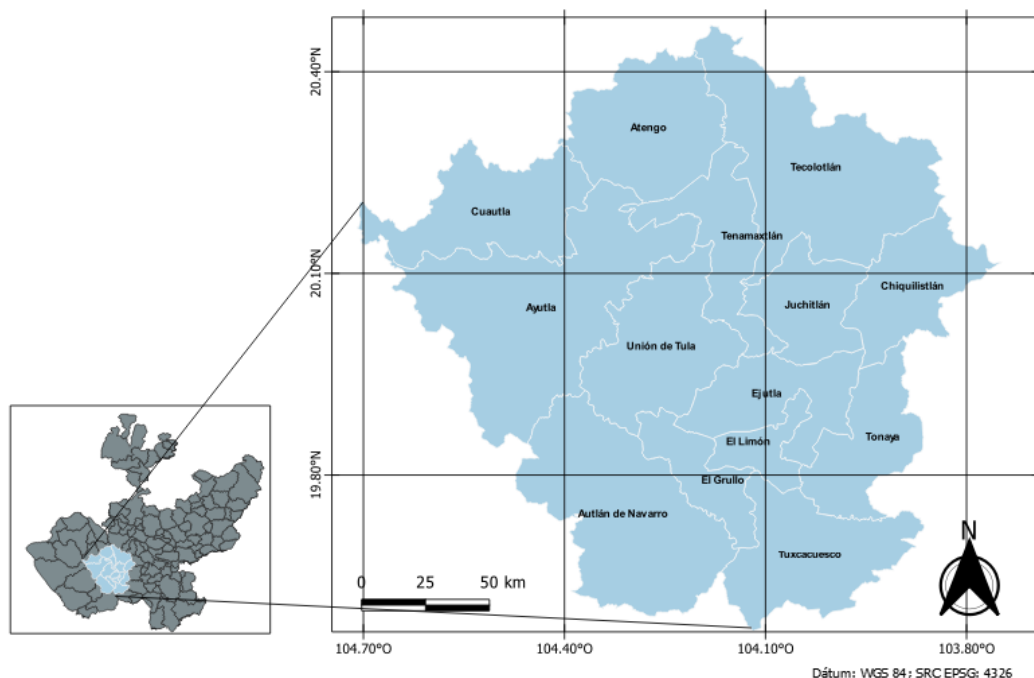
Estudios previos en tres municipios de la región Sierra de Amula (Autlán, el Grullo y El Limón) demostraron un muy bajo nivel de soberanía alimentaria y una muy alta dependencia de alimentos del exterior, principalmente del mercado de abastos en el Área Metropolitana de Guadalajara (Gerritsen 2021^a). Con base a estos resultados, así como la implementación de un PRONACES⁵, cuyo objetivo principal es impulsar y fortalecer procesos de transición agroecológica para recuperar y fortalecer la soberanía alimentaria regional, decidimos ampliar nuestro análisis a los municipios de la región Sierra de Amula e incluir a la región Costa Sur del estado de Jalisco. Ambas regiones son parte de la zona donde existen experiencias de transición agroecológica.

⁵ PRONACES de Soberanía Alimentaria (321316): "Caminando hacia la soberanía alimentaria en México. Fortalecimiento de 10 Territorios-Red Agroecológicos (ForTeRA) (2021-2024)".

La región Sierra de Amula (Figura 1) está conformada por los municipios de Atengo, Autlán de Navarro, Ayutla, Cuautilán, Chiquilistlán, Ejutla, El Grullo, Juchitlán, El Limón, Tecolotlán, Tenamaxtlán, Tonaya, Tuxcacuesco y Unión de Tula. Tiene una extensión territorial de 5,842.52 km², siendo la séptima región con mayor superficie del estado. Según SPPC (2023a), las coberturas de suelo que predominan en la región son vegetación secundaria con un 42.03% de la superficie, seguida de agropecuario con 29.78% y los asentamientos humanos solo ocupan el 0.7% del territorio total. El resto de la región contiene vegetación primaria.

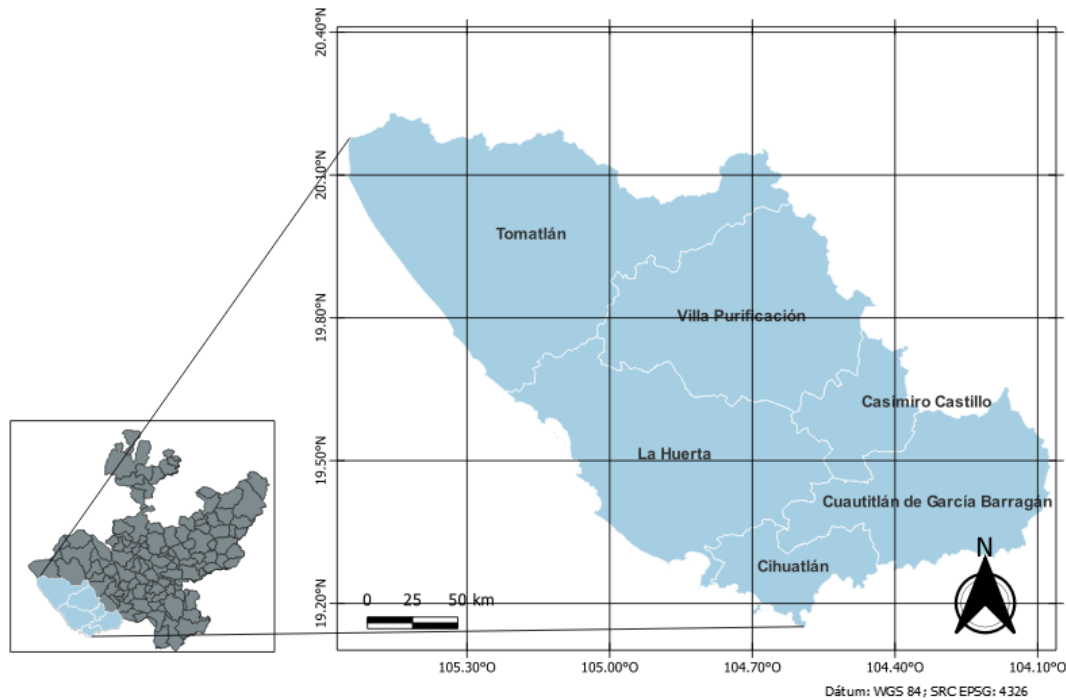
La región Costa Sur (Figura 2) está conformada por los municipios Casimiro Castillo, Cihuatlán, Cuautilán de García Barragán, La Huerta, Villa Purificación y Tomatlán. Tiene una extensión territorial de 9,656.98 km², siendo la segunda región con mayor superficie del estado. Las coberturas de suelo que predominan en la región es vegetación secundaria con un 38.85% de la superficie, seguida de agropecuario con 26.74% y los asentamientos humanos solo ocupan el 0.51% del territorio total. El resto de la región está cubierta con vegetación primaria (SPPC, 2023b).

Figura 1. Regional Sierra de Amula



Elaboración propia utilizando las capas de División política estatal y División política municipal con una escala de 1:250000 del INEGI, 2022.

Figura 2. Región Costa Sur



Elaboración propia utilizando las capas de División política estatal y División política municipal con una escala de 1:250000 del INEGI, 2022.

Metodología aplicada

La metodología que seguimos en este estudio consistió en los siguientes pasos (cfr. Bernard, 2011):

- 1) *Identificación de fuentes secundarias que contienen bases de datos sobre los cultivos en las dos regiones bajo estudio.*

Entre las principales fuentes se encontraron el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), INEGI a través de los Censos Agropecuarios (2007 y 2016) y el Registro Agrario Nacional (RAN). Se optó por utilizar los datos anualizados de Estadística de Producción Agrícola a nivel municipal encontrados en el SIAP (SIAP, 2022), el cual contiene estadística básica sobre producción de los municipios bajo estudio.

2) *Identificación y clasificación de los cultivos incluidos en la base de datos en cultivos alimentarios y cultivos no alimentarios producidos en ambas regiones.*

Después de la identificación de todos los cultivos en los municipios pertenecientes a las dos regiones en la base de datos consultada, agrupamos estos cultivos en alimentarios y no alimentarios (Cuadro 1). Fueron estos dos grupos que analizamos y nos enfocamos en posibles diferencias dentro de cada grupo, o entre los diferentes cultivos que pertenecen a cada uno de los dos grupos.

Cuadro 1. Listado de cultivos de ambas regiones y listado de cultivos específicos de la región Costa Sur

Cultivos de ambas regiones				Cultivos específicos de Costa sur	
Alimentario	Aguacate	Alimentario	Okra (angú o gombo)	Alimentario	Plátano
Alimentario	Arándano	Alimentario	Papaya	Alimentario	Yuca alimenticia
Alimentario	Berenjena	Alimentario	Pepino	Alimentario	Ajonjolí
Alimentario	Cacahuate	Alimentario	Pitaya	Alimentario	Calabaza
Alimentario	Calabacita	Alimentario	Sandía	Alimentario	Guanábana
Alimentario	Camote	Alimentario	Tamarindo	Alimentario	Coco fruta
Alimentario	Cebolla	Alimentario	Tomate rojo (jitomate)	Alimentario	Carambola
Alimentario	Chile seco	Alimentario	Tomate verde	Alimentario	Jaca (jackfruit)
Alimentario	Chile verde	Alimentario	Tuna	Alimentario	Zapote
Alimentario	Ciruela	Alimentario	Uva	Alimentario	Café cereza
Alimentario	Col (repollo)	Alimentario	Zarzamora	Alimentario	Piña
Alimentario	Durazno	No alimentario	Agave	Alimentario	Maracuyá
Alimentario	Ejote	No alimentario	Alfalfa verde	Alimentario	Macadamia
Alimentario	Elote	No alimentario	Avena forrajera en verde	Alimentario	Arroz palay
Alimentario	Espárrago	No alimentario	Avena forrajera seca	No alimentario	Higuerilla
Alimentario	Frijol	No alimentario	Caña de azúcar	No alimentario	Copra
Alimentario	Guayaba	No alimentario	Cártamo	No alimentario	Flores
Alimentario	Jamaica	No alimentario	Cártamo forrajero en verde		
Alimentario	Jícama	No alimentario	Cebada forrajera en verde		
Alimentario	Lima	No alimentario	Garbanzo forrajero		
Alimentario	Limón	No alimentario	Maíz forrajero en verde		
Alimentario	Litchi	No alimentario	Maíz forrajero seco		
Alimentario	Maíz grano	No alimentario	Pastos y praderas		
Alimentario	Mandarina	No alimentario	Rosa		
Alimentario	Mango	No alimentario	Semilla de caña de azúcar		
Alimentario	Melón	No alimentario	Sorgo forrajero en verde		

Fuente: elaboración propia a partir de SIAP, 2022.

3) *Identificación de cinco variables de análisis*

Una vez revisados los datos y agrupados los cultivos en alimentarios y no alimentarios, se eligieron cinco variables de la misma base de datos de SIAP, consideradas útiles para llevar a cabo los análisis correspondientes (Cuadro 2). Cabe enfatizar que se tomó tal cual los datos disponibles en la base del SIAP, aun cuando existe cierta confusión sobre la forma como se calcularon (ver la columna de descripción en el Cuadro 2). Al igual, no se analizó el destino de los cultivos alimentarios producidos en las propias regiones y se supuso que son para el mercado municipal o regional (cfr. Gerritsen 2021b). En este sentido, es importante resaltar que nuestro análisis es exploratorio en tanto ayuda al entendimiento del grado de soberanía alimentaria en las dos regiones.

Cuadro 2. Variables y su descripción

Variables	Descripción*
Número de cultivos	Número de cultivos sembrados con el nombre asignado en el catálogo de cultivos del SIAP.
Superficie sembrada	La unidad de medida son hectáreas. Es la superficie de la cual se obtuvo producción del cultivo indicado.
Volumen de producción	Volumen de producción de la superficie cosechada cuya unidad de medida son las toneladas. con excepción del maguey pulquero y trigo ornamental, con una métrica de miles de litros y gruesas, respectivamente.
Rendimiento	Rendimiento, la unidad de medida son toneladas por hectárea, con excepción de los cultivos que tienen otra métrica la cual se señala en el nombre del cultivo (gruesa, manojó, planta, entre otros).
Valor de producción	Valor expresado en pesos corrientes nacionales.

* Fuente: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php

4) *Análisis de los cultivos a partir de las variables identificadas*

Todas las variables fueron analizadas a nivel municipal y regional, diferenciando entre cultivos alimentarios y no alimentarios, como ya mencionamos. Además, para realizar una comparativa entre municipios y regiones se eligieron tres años distintos, siendo estos 2003, 2010 y 2019. Se eligieron estos años, debido a la disponibilidad de los datos secundarios para las dos regiones y sus municipios en las bases de datos consultadas (SIAP, 2022). El análisis histórico permitió entender los cambios que ocurrieron en la estructura socio productiva en ambas regiones a lo largo del período definido. Posteriormente se tabuló y organizó la información en Excel, agrupando las regiones Sierra de Amula y Costa Sur con sus respectivos municipios para facilitar el análisis y la comprensión de los datos.

De igual modo, hicimos un análisis intrarregional para poder entender la heterogeneidad en el grado de soberanía alimentaria dentro de las dos regiones. Para ello fue necesario promediar las variables anteriormente mencionadas y según el resultado de cada municipio determinar si había un alto o bajo grado de soberanía alimentaria. Las fórmulas utilizadas se muestran en la Cuadro 3.

Cuadro 3. Forma de calcular los promedios de las variables de cultivos alimentarios y no alimentarios

Variables	Fórmulas
Promedio de cultivos/municipio	Total de cultivos de todos los municipios / número de municipios
Porcentaje de superficie sembrada con cultivos alimentarios y no alimentarios por municipio	Total superficie con cultivos alimentarios / Total superficie de cultivos a nivel municipal * 100 Total superficie con cultivos no alimentarios / Total superficie de cultivos a nivel municipal * 100
Porcentaje de volumen de producción de cultivos alimentarios y no alimentarios (en toneladas)	Volumen de cultivos alimentarios / Total volumen de producción a nivel municipal * 100 Volumen de cultivos no alimentarios / Total volumen de producción a nivel municipal * 100
Porcentaje de rendimiento de cultivos alimentarios y no alimentarios	Total del rendimiento de cultivos alimentarios / Total del rendimiento a nivel municipal * 100% Total del rendimiento de cultivos no alimentarios / Total del rendimiento a nivel municipal * 100%
Porcentaje de valor de producción de cultivos alimentarios y no alimentarios	Valor producción de cultivos alimentarios / Total valor de producción a nivel municipal * 100% Valor producción de cultivos no alimentarios / Total valor de producción a nivel municipal * 100%

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Nuestro análisis de las dos regiones indica que la diversidad de cultivos alimentarios ha presentado cambios relevantes y a la vez preocupantes en términos de soberanía alimentaria, ya que a medida que avanza el tiempo (2003, 2010, 2019), se disminuye el área sembrada con cultivos alimentarios y empezaron a predominar los cultivos no alimentarios. Esto es debido a la expansión de un modelo agroindustrial basado en cultivos para la exportación que tienen un mayor valor monetario en el mercado (Vázquez y Gerritsen, 2021). Sin embargo, por otra parte, hubo algunos casos en los que no hubo tales cambios en la diversidad de los cultivos a través de los años, ya que desde el comienzo (2003) ya predominaban

en mayor medida los cultivos no alimentarios que los cultivos alimentarios y, por si fuera poco, estos últimos siguieron aumentando en los años siguientes (2010 y 2019).

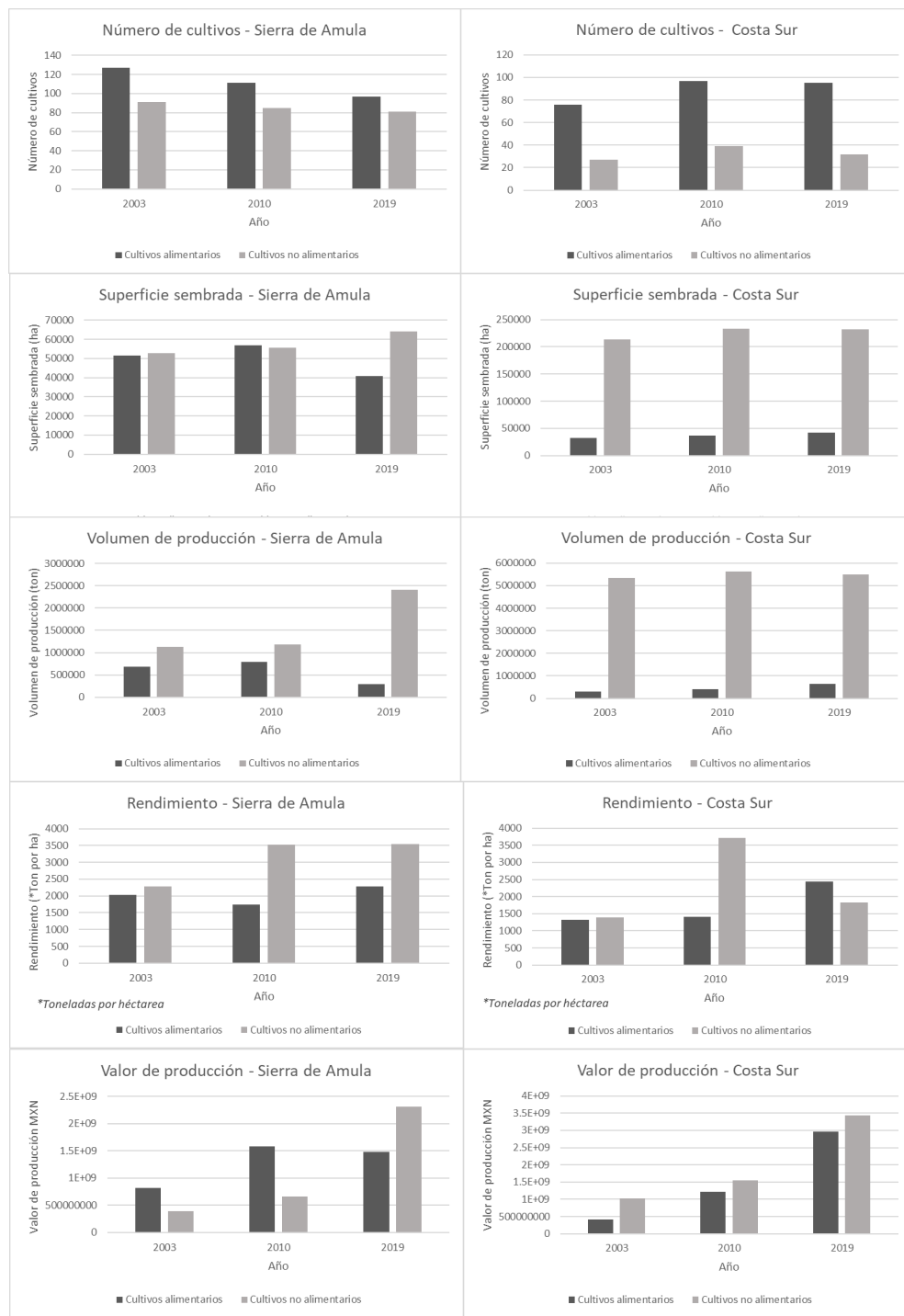
Es importante recalcar, como veremos en las siguientes dos secciones, que en cada región se presentaron cambios a diferentes escalas y que en algunas variables pudo haber estado más marcada que en otras. Igualmente hubo excepciones en municipios de ambas regiones que presentaron un grado alto de soberanía alimentaria, partiendo de las cinco variables que aplicamos.

Análisis interregional de las regiones Sierra de Amula y Costa Sur

Como ya mencionamos anteriormente, los cultivos no alimentarios se han apoderado de las tierras de las regiones Sierra de Amula y Costa Sur, aumentando gradualmente los valores de variables importantes como lo son: número de cultivos, superficie sembrada, volumen de producción, rendimiento y valor producción. De igual modo, las cifras de estas variables varían de región a región, debido a diferentes condiciones, como la superficie apta para cultivo, su localización y las vías de acceso, las condiciones ambientales, la disponibilidad de agua y el mercado de los productos.

En el caso de Sierra de Amula y Costa Sur encontramos diferencias relevantes de acuerdo con lo anteriormente mencionado. De nuestro análisis queda claro que es evidente que Costa Sur lleva la delantera en cuanto a producción de cultivos no alimentarios; mientras que Sierra de Amula mantiene cierto equilibrio en la producción de ambos cultivos en tanto a su número, es decir, la diversidad. Las figuras que a continuación presentamos comparan ambas regiones y resaltan sus diferencias (Figura 3)

Figura 3. Gráficos comparativos de las regiones Sierra de Amula y Costa Sur



Elaboración propia utilizando bases de datos del SIAP (SIAP, 2022).

Como se puede apreciar en la Figura 3, la diversidad de cultivos no se ha visto muy afectada en ambas regiones, siendo solo unos pocos cultivos alimentarios que han salido del mercado. No obstante, no podemos decir lo mismo acerca de la superficie sembrada, que como se observa en las gráficas correspondientes de la Figura 3, desde el 2019 en la región Sierra de Amula las hectáreas sembradas de los cultivos no alimentarios han rebasado a los alimentarios, rompiendo el equilibrio que se había mantenido en años anteriores. Por otro lado, la región Costa Sur siempre ha mantenido un nivel alto de hectáreas sembradas de cultivos no alimentarios, mientras que los cultivos alimentarios mantienen un margen bajo en ese rubro.

En cuanto al volumen de producción, en los años 2003 y 2010 Sierra de Amula mantenía un equilibrio entre cultivos alimentarios y no alimentarios (aunque siempre dominaban los no alimentarios), sin embargo, en 2019 hubo un aumento anormal en la producción de cultivos no alimentarios y una disminución en los cultivos alimentarios. En Costa Sur es indiscutible que los cultivos no alimentarios son los que aportan la mayoría de la producción, teniendo un mínimo aumento de cultivos alimentarios en 2019, pero siempre manteniéndose muy por debajo del volumen de producción de los no alimentarios. Esto último puede sonar un poco contradictorio ya que es una de las principales regiones productoras de frutas gracias a sus condiciones climatológicas y ambientales, aprovechando así el potencial de esta región en cultivos que muchas personas no podrán consumir directamente.

En cuanto al rendimiento de los cultivos, se observa en la sierra de Amula un equilibrio relativo en tanto a los cultivos alimentarios y no alimentarios, mientras en la Costa Sur se ve un cambio drástico en el 2019 comparado con el 2010. Finalmente, en tanto al valor producción, en ambas regiones se ve un cierto equilibrio, con la excepción de la región Sierra de Amula en 2010.

En términos generales, comparada con la región Costa Sur observamos que en la Sierra de Amula la dominancia de cultivos no alimentarios no es tan marcada como en la Costa Sur, sin embargo, en un futuro no muy lejano es probable que las cifras de estos cultivos aumenten, dependiendo así cada vez más de alimentos provenientes de otros lugares (Gerritsen, 2021a).

Los resultados que hemos presentado hasta el momento indican que ambas regiones han presentado cambios drásticos en su estructura socioproductiva que conllevó una pérdida de la soberanía alimentaria regional. Según Gerritsen (2021b), estos cambios en la provisión de alimentos han pasado desapercibidos para muchos de los consumidores, debido a la presencia de suficientes alimentos, aun cuando provengan de otras regiones y países. Esto hace reflexionar sobre el costo energético y monetario por el traslado de estos alimentos, ya que al traerlos de lugares lejanos el precio de estos es más elevado y tal vez no sea accesible para muchas personas. Además, el sistema agroalimentario actual actúa igual que una agroindustria globalizada, en donde el consumo de productos fuera de temporada o exóticos implican un largo recorrido desde el lugar de origen hasta nuestras mesas (González, 2012, Vázquez y Gerritsen, 2021).

De igual modo, tomar en cuenta que entre más lejos sea el lugar de procedencia de los productos, también aumenta la contaminación al ambiente debido a la quema de combustibles que se produce durante su transporte. Desgraciadamente, hay agricultores que optan por cultivar productos no ali-

mentarios (agave y caña principalmente), debido a las grandes ganancias económicas que obtienen de ellos en comparación de los alimentarios, siendo este un negocio más rentable que la producción de frutas y verduras, a causa de la alta competencia que existe con los alimentos traídos del mercado de abastos de Guadalajara (Gerritsen, 2021b).

Análisis intrarregional de la región Sierra de Amula

En este apartado se muestra de manera más específica el estado de la soberanía alimentaria que presentan cada uno de los municipios de la región Sierra de Amula, y así lograr identificar cuales muestran una mayor o una menor soberanía alimentaria.

En la Cuadro 4 se puede observar el grado de soberanía alimentaria que presentan los municipios de la región, poniendo como base el promedio regional de datos solamente del año 2019, y así determinar el nivel referente al promedio regional. En este sentido, la Cuadro 4 presenta, entonces, una comparación en términos relativos, es decir de los municipios vis-a-vis el promedio regional y el promedio de otros municipios (cfr. Bernard, 2011).

Cuadro 4. Grado de soberanía alimentaria de los municipios de la región Sierra de Amula

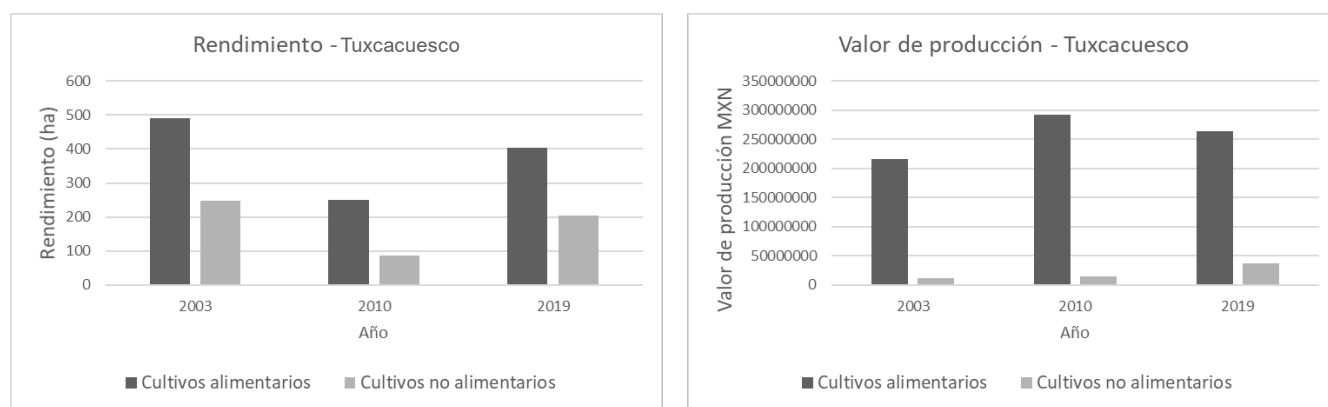
Sierra de Amula					
	Número de cultivos	Superficie sembrada	Volumen de producción	Rendimiento	Valor de producción
Seguridad alta	Autlán (20)	Cuautla (68.6%)	Unión de Tula (38.2%)	Tuxcacuesco (66.3%)	Tuxcacuesco (87.6%)
	El Limón (16)	Unión de Tula (66.3%)	Tuxcacuesco (37.7%)	Unión de Tula (62.7%)	Cuautla (81.4%)
	Tuxcacuesco (12)	Ayutla (55.2%)	Cuautla (32.1%)	Ejutla (58.8%)	Unión de Tula (70.6%)
	Tonaya (8)	Chiquilistlán (46.2%)	Ayutla (21.3%)	Autlán(55.6%)	Chiquilistlán (68.9%)
	Tecolotlán (8)	Ejutla (43.2%)	Ejutla (15.7%)	El Limón (38.6%)	Ayutla (66.6%)
	El Grullo (8)	Tuxcacuesco (39%)	Chiquilistlán (13.2%)		Ejutla(55.8%)
			Autlán (13.2%)		Autlán (42.9%)
Promedio regional	6.9	38.8%	10.9%	39.1%	39%
Seguridad baja				Tonaya (35%)	Tecolotlán (28.2%)
	Unión de Tula (%)	Autlán (38.7)	Tenamaxtlán (7.8%)	Cuautla (31.9%)	Tenamaxtlán (26.7%)
	Atengo (4)	Atengo (33.6)	Atengo (7.4%)	El Grullo (29.9%)	Atengo (22.2%)
	Juchitlán (4)	Tenamaxtlán(32.2%)	Tonaya (7%)	Tecolotlán (17.9%)	Tonaya (21.7%)
	Tenamaxtlán (3)	Tecolotlán (31.2%)	Tecolootlán (6%)	Ayutla (14.5%)	El Limón (16.8%)
	Ejutla (3)	Juchitlán (30.8%)	Juchitlán (5.2%)	Chiquilistlán (11.9%)	El Grullo (11.5%)
	Ayutla (2)	El Grullo (21%)	El Grullo (3.8%)	Atengo (8.9%)	Juchitlán (10.6%)
	Cuautla (2)	Tonaya (19.7%)	El Limón (3.1%)	Juchitlán (7.5%)	
Chiquilistlán (2)	El Limón (15.2%)		Tenamaxtlán (5.9%)		

Fuente: elaboración propia utilizando bases de datos de SIAP, 2002.

Con base en el Cuadro 4, es notoria la mayor cantidad de municipios con soberanía alimentaria baja, encontrando en promedio ocho municipios en cada una de las variables. Sin embargo, en volumen y valor de producción hay un empate en la cantidad de municipios encontrados en soberanía alimentaria alta y baja, es decir, que en ambas variables hay siete municipios. De igual modo no hay ningún municipio que mantenga la misma posición en las cinco variables, ya que la ubicación de cada municipio en el cuadro es muy heterogénea y solo unos cuantos mantienen cierta semejanza de su posición en todas las variables. Es decir, que el grado de soberanía alimentaria de los municipios varía según la variable considerada.

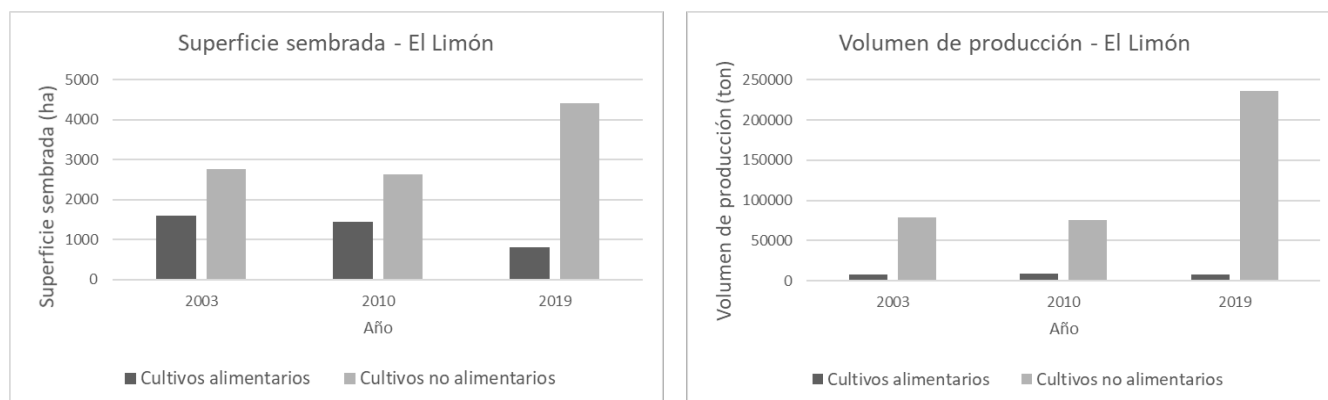
Es claro es que no todos los municipios ocupan la misma posición en todas las variables, sin embargo, hay algunos municipios que se repiten entre los tres primeros puestos de una soberanía alta y los últimos tres en soberanía baja en la mayoría de las variables. En el caso de soberanía alta los municipios que más se repiten en las cinco variables son Cuautla (3), Unión de Tula (4) y Tuxcacuesco (4). No obstante, Tuxcacuesco ocupa la mayoría de las veces el primer puesto (Figura 4), lo que infiere que este es el municipio con mayor soberanía alimentaria. Con base en esto, se podría decir que estos son los tres municipios con mayor soberanía alimentaria en la región Sierra de Amula. Por otro lado, en soberanía baja se encuentran los municipios de El Grullo (3), El Limón (3) y Juchitlán (3), los cuales se repiten la misma cantidad de veces en las cinco diferentes variables; en este caso, El Limón ocupa la mayoría de las veces el último puesto (superficie sembrada y volumen de producción, Figura 5), infiriendo que este es el municipio con menor seguridad alimentaria.

Figura 4. Gráficos del rendimiento y valor de producción de Tuxcacuesco



Como lo muestra la Figura 4, el municipio de Tuxcacuesco es el municipio con mayor soberanía alimentaria en la región Sierra de Amula, siendo las variables rendimiento y valor de producción en las que presentaron las cifras más altas.

Figura 5. Gráficos de superficie sembrada y volumen de producción de El Limón



Como lo muestra la Figura 5, el municipio de El Limón es el municipio con menor soberanía alimentaria de la región Sierra de Amula, siendo las variables superficie sembrada y volumen de producción en donde presentó las cifras más bajas. Es importante mencionar que el municipio del El Limón es considerado como el primer municipio agroecológico del país, lo que implica que entre sus desafíos es la recuperación de la soberanía alimentaria. Igual que con la conclusión anterior se podría asumir que estos son los tres municipios con menor soberanía alimentaria de la región.

Análisis intrarregional de región Costa Sur

En el presente apartado se muestra de manera más específica el grado de soberanía alimentaria que presentan cada uno de los municipios de la región Costa Sur, y de este modo identificar aquellos que muestran mayor o menor soberanía alimentaria.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos sobre el grado de soberanía alimentaria de los municipios de la región Costa Sur. Igual que en el cuadro anterior se toma como base el promedio regional del año 2019 para determinar si hay baja o alta soberanía alimentaria. Los municipios están organizados del nivel más alto al más bajo. Como en el Cuadro 4, la comparación entre municipios es en términos relativos, es decir de los municipios vis-a-vis el promedio regional y el promedio de otros municipios (cfr. Bernard, 2011).

Cuadro 5. Grado de soberanía alimentaria de los municipios de la región Costa Sur

Costa Sur					
	Número de cultivos	Superficie sembrada	Volumen de producción	Rendimiento	Valo de producción
Seguridad alta	Villa Purificación (20)	Cihuatlán (43.2%)		Cihuatlán (85.2%)	
	Tomatlán (19)	Tomatlán (24.4%)	Cihuatlán (36.2%)	Tomatlán (72.3%)	Cihuatlán (86%)
	La Huerta (16)	Cuautitlán (18%)	Tomatlán (14.2%)	La Huerta (64.2%)	Tomatlán (64.2%)
Promedio regional	15.8	15.20%	10.50%	57.10%	46.30%
Seguridad baja	Casimiro Castillo (15)	La Huerta (11.4%)	Casimiro Castillo (4.9%)	Cuautitlán (47.8%)	La Huerta (33.4%)
		Casimiro Castillo (8.8%)	La Huerta (4.8%)	Casimiro Castillo (43%)	Cuautitlán (32.5%)
		Villa Purificación (4.7%)	Cuautitlán (3.5%)	Villa Purificación (42.9%)	Cuautitlán (19.9%)
			Villa Purificación (2%)		Villa Purificación (16.6%)

Fuente: elaboración propia utilizando base de datos del SIAP, 2022.

Al haber menor cantidad de municipios en esta región, los resultados son más notorios. En cuatro de las variables el municipio que ocupa el primer puesto en soberanía alimentaria alta es Cihuatlán, en donde las variables que ocupa un porcentaje mayor son superficie sembrada, volumen de producción, rendimiento y valor de producción (Figura 6); el mismo caso ocurre con el último puesto de soberanía baja, en donde se observa que Villa Purificación se repite en las mismas variables que Cihuatlán, sin embargo, en las variables que ocupa el porcentaje más bajo es en superficie sembrada y volumen de producción (Figura 7). Es algo incoherente que a pesar de que Villa Purificación encabeza la lista de los municipios con mayor número de cultivos alimentarios, sea el de menor soberanía alimentaria en toda la región y, en cambio, Cihuatlán se encuentra en el penúltimo puesto y presenta mayor soberanía alimentaria. A pesar de la gran variabilidad de alimentos que Villa Purificación es capaz de producir, destinan las tierras a sembrar cultivos de exportación que nadie podrá consumir, abonando a la inseguridad alimentaria de los habitantes del municipio.

Figura 6. Gráficos de rendimiento y valor de producción en Cihuatlán

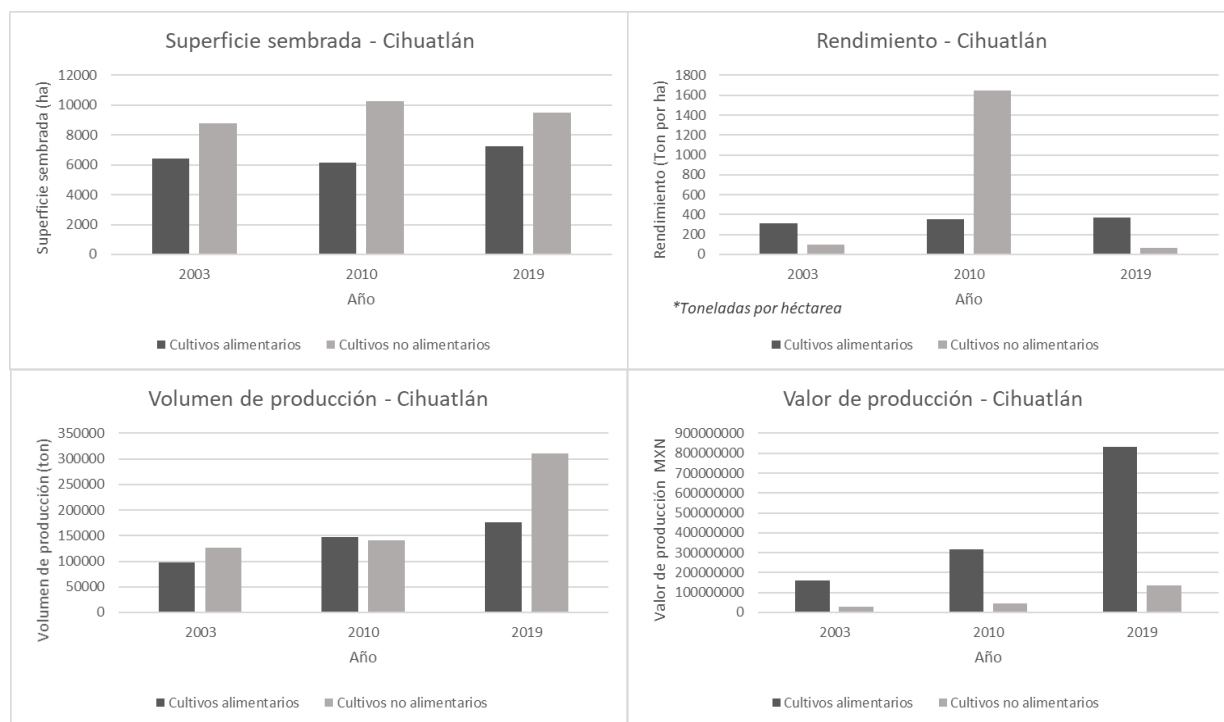
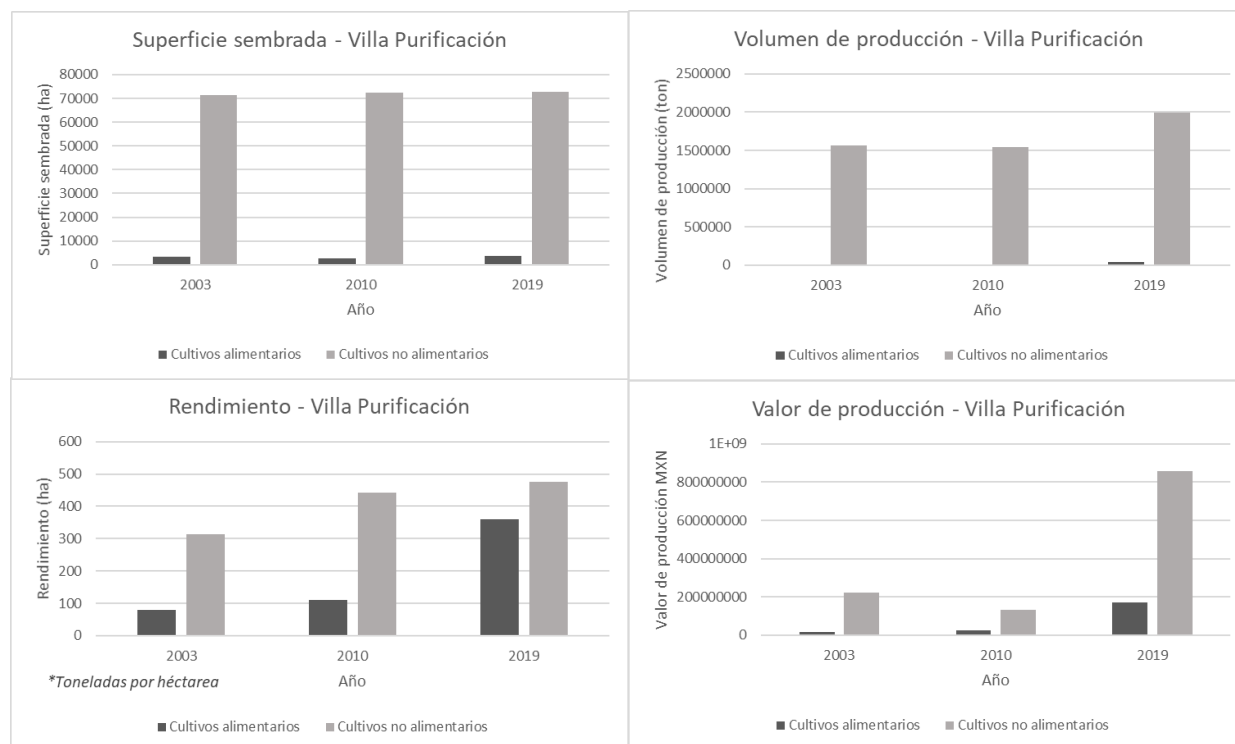


Figura 7. Gráficos de rendimiento y valor de producción en Villa Purificación



DISCUSIÓN

En este artículo, presentamos un análisis de estado de la soberanía alimentaria en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur en el estado de Jalisco, utilizando cinco variables para su análisis. Nuestro análisis, si bien se tiene que considerar preliminar por la calidad de los datos analizados, permite observar que la soberanía alimentaria se ha perdido en ambas regiones, por lo menos desde inicios de los 2000. En otras palabras, se registra insuficiente capacidad socio-productiva para producir alimentos para los habitantes de cada una de las regiones.

En términos generales, en base a diferentes análisis que realizamos, representados en los diferentes gráficos en las secciones anteriores, mostramos que la diversidad en cultivos alimentarios ha ido decreciendo y se observa cómo cultivos no alimentarios han ido ganando espacio en las zonas de cultivo. Esto confirma los resultados en estudios anteriores realizados por el primer autor en tres municipios de la región Sierra de Amula respecto a la pérdida de la soberanía alimentaria en las zonas predominantes rurales (Gerritsen, 2021^a, 2021b).

Cabe resaltar que el uso de cinco variables también permitió observar una heterogeneidad entre y dentro de las regiones en tanto al estado de la soberanía alimentaria. En este sentido, a pesar de que en ambas regiones el número de cultivos alimentarios todavía es mayor que los no alimentarios, las otras variables indican que en ambas regiones por lo menos el 50% de sus municipios tienen una baja soberanía alimentaria. En este sentido, encontramos que en la región Costa Sur los cultivos no alimentarios rebasan en cantidad considerable en la mayoría de las variables a los cultivos alimentarios, que a comparación con Sierra de Amula es posible observar un cierto equilibrio en los diferentes años y variables.

Unas de las explicaciones de los cambios en el estado de la soberanía alimentaria tienen que ver con el contexto económico de los cultivos. Hoy en día los productos no alimentarios tienen un mejor valor económico en los mercados mercado y dejan a los productores con mayores ganancias que con los cultivos alimentarios. Además, para los pequeños productores de la región es más difícil competir con centros de abastecimientos grandes, como es el mercado de abastos de Guadalajara, que, paradójicamente, es el principal distribuidor de alimentos de las regiones Sierra de Amula y Costa Sur, proveyendo hasta el 90-95% de los alimentos que se consumen en la región (Gerritsen, 2021b). Es así que los productos que ofrecen los locatarios en las dos regiones, en su mayoría, son externos, denotando una clara desconexión en las redes de comercio entre productores y comerciantes locales de los municipios, generando así la pérdida de soberanía alimentaria causada por la dependencia de productos importados (*Ibid.*, 2021, 2010).

Algunos de los cultivos no alimentarios que predominan en ambas regiones son la caña de azúcar, el aguacate, el agave, los pastos y/o forraje para ganado, entre otros, y en donde nada de sus derivados será aprovechado directamente por los habitantes de las regiones, sino que, por ejemplo, el azúcar se

procesa en un ingenio y exportada a otros municipios o estados; el agave tarda mínimo 5 años para alcanzar su madurez y ser cosechado para llevar el producto a las industrias para procesarlo y exportar sus derivados. En el caso de pastos y forrajes, la demanda de carne ha hecho que cada vez más extensión del territorio se dedique a la producción de alimento animal.

Cabe resaltar que los cultivos alimentarios y no alimentarios estudiados en cada región son monocultivos y son cultivados dentro de la lógica de la agricultura agroindustrial, en donde principalmente los grandes productores son capaces de competir en este mercado al ofrecer sus productos con verificación sanitaria y de calidad, dejando a un lado a los pequeños productores, que, al tener extensiones de terreno más pequeñas, solamente son capaces de distribuir sus productos a nivel municipal en comercios locales.

El anterior párrafo indica que los cambios en el estado de la soberanía alimentaria están estrechamente relacionados con los cambios en la estructura socio-productiva regional. En este sentido, varios autores han señalado la acelerada expansión del modelo agroindustrial de agricultura en estas regiones, predominando los cultivos de mayor valor económico, como el agave, el aguacate, la caña de azúcar, el chile y el jitomate, entre otros (Tlatempa *et al.* 2023; Vazquez y Gerritsen, 2021; Gerritsen, 2018; Salcido *et al.*, 2016; Gerritsen, 2015; Gerritsen *et al.*, 2011; Gerritsen, 2010; Gerritsen y Martinez, 2010). Esta predominancia de la agricultura agroindustrial y de los cultivos para la exportación no es único para las dos regiones estudiadas, sino que también se observa en otras regiones de México y otros países de América Latina (Keilbach, *et al.* 2019; Lazos *et al.* 2023^a;2023^b).

Aquí es importante mencionar que, con la tendencia actual de alza de los cultivos no alimentarios, las regiones Sierra de Amula y Costa Sur se conviertan en regiones no solamente con una mayor vulnerabilidad alimentaria, sino también con una mayor vulnerabilidad socio-ecológica. Los impactos de los fenómenos climáticos extremos en el pasado ya han mostrado esta tendencia (Gerritsen, 2016; Gerritsen *et al.* 2024).

CONCLUSIONES

La recuperación de la soberanía alimentaria y el fortalecimiento de la capacidad socio-productiva es un reto mayor no solamente para el campo mexicano, sino, y, sobre todo, para la creciente población que vive en las zonas urbanas. En este sentido, es importante tomar en cuenta las diferencias entre y dentro de las múltiples regiones de nuestro país, es decir, la alta heterogeneidad en las condiciones alimentarias regionales (López y De la Torre, 2022). Nuestro estudio también lo confirma.

Reconocer la heterogeneidad en el tema de la soberanía alimentaria, así como las condiciones socio-productivas también requiere impulsar procesos de transición socio-productiva hacia agricultura sustentable desde los espacios regionales y tomando en cuenta sus características específicas, con el fin

de producir suficientes alimentos en los espacios regionales (Ploeg, 2008). En este sentido, el fortalecimiento de la agricultura familiar conlleva esta oportunidad de reconstruir la sustentabilidad en estos espacios regionales (Ramírez, 2023). La agroecología puede jugar un papel estratégico en esta reconstrucción, debido a que sus principios para la producción de alimentos se basan en la sustentabilidad (Altieri y Toledo, 2011, Remmers, 1993, FAO, 202).

En este sentido, la producción de alimentos por parte de la agricultura familiar es de mayor importancia en términos de la necesidad de contar con alimentos sanos, ya que se basa en el empleo de técnicas tradicionales, que van desde la preparación de la tierra hasta el manejo de plagas. La conservación de estos conocimientos es sustancial, ya que dichas prácticas contribuyen a disminuir los impactos al ambiente, de igual modo a la conservación del suelo y biodiversidad en las parcelas. Además, que, en este modelo de producción, casi no se utilizan productos químicos para el desarrollo de los cultivos y la prevención de enfermedades y plagas. La alimentación con productos libres de químicos y con buenas prácticas de producción es parte esencial de la soberanía alimentaria (Lazos, 2023^a, 2023b).

No obstante, muchas de estas prácticas se han ido perdiendo a causa de la gran competencia y la necesidad de las personas por obtener mayores ingresos, como ya mencionamos. Esto significa que el mayor reto para la recuperación de la soberanía alimentaria en las diferentes regiones de nuestro país, no solamente consiste en asegurar el acceso a alimentos sanos, sino, y quizás, sobre todo, en fortalecer la agricultura familiar y los procesos asociados de transición agroecológica. Solamente así, se puede asegurar la producción de alimentos sanos regionales en vez de tener que importarlos de otras regiones y países.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología de México (CONAHCYT), dentro del PRONACES de Soberanía Alimentaria (321316): “Caminando hacia la soberanía alimentaria en México. Fortalecimiento de 10 Territorios-Red Agroecológicos (ForTeRA)”.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Becerra, H., García-Trejo, J. F., Vázquez-Hernández, M. C., Alvarado, A. M., Romero-Zepeda, H. (2017). "Panorama general y programas de protección de seguridad alimentaria en México", *Revista médica electrónica*, 39, 741-749. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242017000700005&script=sci_arttext&tlng=en
- Albacete, M., Quesada, C., Suaza Juan, D. (2021). Estrategias de abastecimiento: una pieza fundamental en el rompecabezas del sistema agroalimentario. https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/20.500.12413/16770/RIMISP_Estrategias_de_abastecimiento.pdf?sequence=2
- Altieri, M. & V.M. Toledo. 2011. "The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants", *The Journal of Peasant Studies Vol. 38*, No. 3, July 2011, 587–612.
- Bernard, H. R. (2011). "Research methods in cultural anthropology. Qualitative and quantitative approaches". Fifth Edition. Lanham, New York, Toronto, Plymouth: Altamira Press.
- FAO. (1996). Cumbre mundial sobre la alimentación. Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria mundial. <https://www.fao.org/3/w3613s/w3613s00.htm>
- FAO. (2002). Agua y cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma, 2002. <https://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s04.htm#:~:text=La%20autosuficiencia%20alimentaria%2C%20que%20se%20alcanza%20cuando%20se,suele%20ser%20un%20objetivo%20de%20las%20pol%C3%ADticas%20nacionales.>
- FAO. (2007). Forum for Food Sovereignty, Nyéléni. Shyntesis report. <https://nyeleni.org/IMG/pdf/31Mar2007NyeleniSynthesisReport-en.pdf>
- FAO. (2014). Implicaciones de las políticas económicas en la seguridad alimentaria: Manual de capacitación. Deposito de documentos. <https://www.fao.org/3/w3736s/w3736s03.htm>
- Gerritsen, P.R.W. (2021a), "Análisis preliminar del Sistema Agroalimentario Ciudad-Región de tres municipios en el suroeste del estado de Jalisco, Occidente de México", *Acta Sociológica*, núm. 83, septiembre-diciembre de 2020, pp. 15-36.
- Gerritsen, P.R.W. (2021b). "¿De dónde vienen los alimentos que comemos?", *Cuadernos Sociológicos del CU Costa Sur* 5.
- Gerritsen, P.R.W. (2018), "Manejo campesino de paisajes rurales: estudio de caso del Occidente de México", *Cuadernos Geograficos* 57 (2), 304-325
- Gerritsen, P.R.W. (2016), *Ventanillas y otros espejismos cotidianos*. Guadalajara: Petra Ediciones.
- Gerritsen, P.R.W. (2015), "Agricultura familiar y desarrollo agroecológico: acercamiento teórico-empírico desde el Occidente de México", *Sociedades Rurales. Producción y Medio Ambiente*. Año 2015 Vol.15 Núm 29: 59-81. México.

- Gerritsen, P.R.W.; Ortiz-Arrona, Claudia Irene y; Osorio-Estrella, Cecilia Araceli (2024). "Complejidad socioambiental, vulnerabilidad socioecológica y urbanización: análisis exploratorio de la avalancha en San Gabriel, Jalisco, México", *Entre Diversidades*. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, V9, N2 (19).
- Gerritsen, P.R.W., J.J. Rosales A., A. Moreno y L.M. Martínez (2011), "Agave azul y desarrollo rural sustentable en la cuenca baja del Río Ayuquila", *Región y Sociedad* 51 (Mayo a Agosto de 2011), Vol. XXIII: 161-192.
- Gerritsen, P.R.W., L.M. Martínez R. (Eds) (2010), *Agave azul, sociedad y medio ambiente*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Gerritsen, P.R.W., J.J. Rosales A., A. Moreno y L.M. Martínez (2011), "Agave azul y desarrollo rural sustentable en la cuenca baja del Río Ayuquila", *Región y Sociedad* 51 (Mayo a Agosto de 2011), Vol. XXIII: 161-192. (Revista de arbitraje).
- González, H. M. (2012). Alimentos kilométricos. Amigos de la Tierra. Alimentos kilométricos by Teresa Rodríguez Pierrard - Issuu
- Graziano da Silva, J., Jales, M., Rapallo, R., Díaz-Bonilla, E., Girardi, G., del Grossi, M., Luiselli, C., Sotomayor, O., Rodríguez, A., Rodrigues, M., Wander, P., Rodríguez, M., Zuluaga, J., Pérez, D. (2021). Sistemas alimentarios en América Latina y el Caribe - Desafíos en un escenario pospandemia. Panamá, FAO y CIDES. <https://doi.org/10.4060/cb5441es>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Actualización del Marco Censal Agropecuario. <https://www.inegi.org.mx/programas/amca/2016/#Tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). "Áreas geoestadísticas estatales, 2022", escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [16,559] - CONABIO
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). "División política municipal, 2022", escala: 1:250000. México. Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [16,559] - CONABIO
- Keilbach Baer, N.M., P.R.W. Gerritsen y B.O. Acuña Rodarte (Coord.) (2019), "Construcción socioeconómica y cultural del campo". México: AMER, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Colegio de Michoacán. *Colección Marejadas Rurales y Luchas por la Vida*, Vol. 1. ISBN: 9786079293321.
- La Vía Campesina. (1996). Declaración de Roma de La Vía Campesina que define por primera vez la Soberanía Alimentaria. <https://viacampesina.org/es/1996-declaracion-de-roma-de-la-via-campesina-que-define-por-primera-vez-la-soberania-alimentaria/>
- La Vía Campesina. (2003). ¿Qué Es La Soberanía Alimentaria? <https://viacampesina.org/es/que-es-la-soberania-alimentaria/>

- Lazos Chavero, E. y T. Rivera Núñez (Coord.) (2023a), *Horizontes y experiencias agroalimentarias en México: entretejiendo actores, escales y dinámicas de transformación*. Tomo I. Ciudad de México: UNAM/IIS.
- Lazos Chavero, E. y T. Rivera Núñez (Coord.) (2023b), *Horizontes y experiencias agroalimentarias en México: entretejiendo actores, escales y dinámicas de transformación*. Tomo II. Ciudad de México: UNAM/IIS.
- López Salazar, R. y H.C. De la Torre Valdez (2022). "Soberanía alimentaria en México: el reto inconcluso. Equilibrio Económico. Nueva Época", *Revista de Economía, Política y Sociedad*. Vol. 18 (2) Semestre agosto-diciembre de 2022 Núm. 54, pp. 65-99.
- Nuefeld, L.M. (2021). "La desnutricion en Mexico: una agenda inconcluso", *Salud Pública de México*, vol. 63, no. 3, mayo – junio de 2021: 337-338.
- ONG y OSC. (1996). Declaración "Beneficios para unos o Alimentos para todos". Cumbre Mundial sobre la Alimentación, 13 al 16 de noviembre. Roma. "Ganancias para unos cuántos o alimentos para todos" | Biodiversidad en América Latina (biodiversidadla.org)
- Ortega Cerda, M., Rivera-Ferre, M. G. (2010). "Indicadores internacionales de Soberanía Alimentaria: nuevas herramientas para una nueva agricultura", *Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 14, 53-77. <http://www.oda-alc.org/documentos/1365184499.pdf>
- Ploeg, J.D. van der (2008), "The new peasantries. Rural development in times of globalization", *Sterling: Earthscan Food and Agriculture*. London.
- Ramírez Juárez, J. (2023), "Regímen alimentario y agricultura familiar. Elementos para la soberania alimentaria", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol.14, Sep./Oct. 2023: 1-10.
- Registro Agrario Nacional (RAN). (2023). Datos abiertos. <https://datos.ran.gob.mx/conjuntoDatos-Publico.php>
- Remmers, G.G.A. (1993). "Agricultura tradicional y agricultura ecológica: vecinos distantes", *Agricultura y Sociedad* 66 (Enero-Marzo1993): 201-220.
- Rivera Doimmarco, J.A., L. Cuencas Nasu, T. Gonzalez de Cosio, T. Shamah Levy y R. García Feregrino (2013). "La desnutrición crónica en México en el último cuarto de siglo: analisis de cuatro encuestas nacionales", *Salud Pública de México*, vol. 5, suplemento 2 de 2013: S161 – S169.
- Robledo-Arratia, L. (2014). "La historia de la agricultura y los cultivos transgénicos", *Cienciorama UNAM. La historia de la agricultura y los cultivos transgénicos* (unam.mx).
- Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Romero-Martínez, M., Mundo-Rosas, V., Shamah-Levy, T. (2021). "Inseguridad alimentaria y percepción de cambios en la alimentación en hogares mexicanos durante el confinamiento por la pandemia de Covid-19", *Salud pública de México*, 63(6), 763-772. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342021000600763

- Salcido Ruiz, S., P.R.W. Gerritsen y A. Moreno Hernández (2016) "Evaluación de la multifuncionalidad de sistemas de producción agrícola: estudio de caso en la región Sierra de Amula y sur de Jalisco, México", *Sociedades Rurales. Producción y Medio Ambiente*. Año 2016, Vol.16: 17-45.
- Savia, M. (2014). "El impacto de la producción agroindustrial sobre el derecho a la alimentación", *América Latina en Movimiento*. No. 496. <https://www.alainet.org/sites/default/files/alai496w.pdf>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SADER. (2021). Sistema agroalimentario de México, un desafío de bienestar. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/sistema-agroalimentario-de-mexico-un-desafio-de-bienestar?idiom=es>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2007). Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Datos abiertos. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana (SPPC). (2023a). Agenda Regional Sierra de Amula. 07-Sierra-de-Amula-Agenda-Regional_finalV2.pdf (jalisco.gob.mx)
- Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana (SPPC). (2023b). Agenda Regional Costa Sur. 08-Costa-Sur-Agenda-Regional.pdf (jalisco.gob.mx)
- Tlatempa Martínez, S., L.M. Martínez Rivera, A. Moreno Hernandez y P.R.W. Gerritsen (2023). "Agricultura empresarial en Llano Grande al sur de Jalisco: historia y problemática socioambiental", *Revista de Geografía Agrícola* 2023, Núm. 71: 1-20.
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Mapes y C. Toledo (2000). Ecología y autosuficiencia alimentaria: hacia una opción basada en la diversidad biológica, ecológica y cultural de México. Siglo XXI. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uHn17z3EsPMC&oi=fnd&pg=PA5&dq=autosuficiencia+alimentaria+m%C3%A9xico&ots=Y2z2PHCaiX&sig=uE30nsV_mcXEYULzsEVgsw3goL4&redir_esc=y#v=onepage&q=autosuficiencia%20alimentaria%20m%C3%A9xico&f=false
- Valdez-Morales, M., Medina-Godoy, S., Chacón-López, M. A., Espinosa-Alonso, L. G. (2016). "Enfoque integral de la importancia de la dieta en las condiciones actuales de salud de la población mexicana/ Comprehensive approach of diet importance on health status of the mexican population", *Biotechnia*, 18(1), 22–31. <https://doi.org/10.18633/bt.v18i1.247>
- Vázquez Uribe, S. y P.R.W. Gerritsen (2021), "Transición agroecológica y dinámica de uso de suelo agrícola en la cuenca media del Río Ayuquila-Armería en el sur del Estado de Jalisco: un acercamiento", *Investigaciones geográficas*, 106, Diciembre de 2021: 2-17.

Los efectos del resveratrol como antioxidante, antiinflamatorio y antienvjecimiento en los peces

Román Espinosa Cervantes^{1*}, Yolanda Margarita Sánchez Castilleja²,
David Antonio Santos Ambrosio³ y Luis Eduardo Melgarejo Arango³

Resumen. El resveratrol es un compuesto bioactivo en muchos alimentos de origen vegetal, con efectos benéficos para la salud, como antioxidante, antiinflamatorio, antienvjecimiento, antiobesidad, neuroprotector cardioprotector, antitumoral y antidiabético, por lo que puede proteger contra diversas enfermedades crónicas (donde esté presente la oxidación, la inflamación y el envjecimiento). El RES posee propiedades terapéuticas en el cáncer, la neurodegeneración y la aterosclerosis. Además, regula diversas vías sinérgicas que controlan el estrés oxidativo, la inflamación y la muerte celular. Después de recopilar y analizar la literatura científica, se puede mencionar que el RES tiene buena aceptación en la comunidad científica y tiene efectos favorables sobre los procesos antioxidantes, antiinflamatorios y antienvjecimiento de los peces. Actualmente el RES es considerado un aditivo nutricional, complemento farmacológico y terapéutico. Por lo tanto, el resveratrol ha sido considerado un potente candidato para el desarrollo de nutraceuticos y productos farmacéuticos para prevenir y tratar ciertas enfermedades crónicas. Por consiguiente, esta revisión aportará conocimiento sobre el efecto del RES como antioxidante, antiinflamatorio, antienvjecimiento, usando como modelo animal los peces.

Palabras clave: Resveratrol, Peces, Antioxidantes, Inflamación, Envjecimiento.

Abstract. Resveratrol is a bioactive compound in many foods of plant origin, with beneficial health effects, such as antioxidante, anti-inflammatory, anti-aging, anti-obesity, neuroprotective, cardioprotective, anti-tumor and anti-diabetic, so it can protect against various chronic diseases (where oxidation, degradation and aging). RES has therapeutic properties in cancer, neurodegeneration and atherosclerosis. In addition, it regu-

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

² Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

³ Estudiantes de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia.

* Autor de contacto. e-mail: espinosa@correo.xoc.uam.mx.

lates various synergistic pathways that control oxidative stress, inflammation and cell death. After collecting and analyzing the scientific literature, it can be mentioned that RES is well accepted in the scientific community and has favorable effects on antioxidant, anti-inflammatory and anti-aging processes. Currently, RES is considered a nutritional additive, pharmacological and therapeutic complement. Therefore, resveratrol has been considered a potent candidate for the development of nutraceuticals and pharmaceuticals to prevent and treat certain chronic diseases. For that reason, this review will provide knowledge about the effect of RES as an antioxidant, anti-inflammatory, and anti-aging, using fish as an animal model.

Keywords: Resveratrol, Fish, Antioxidants, Inflammation, Aging.

INTRODUCCIÓN

El resveratrol (RES) es un compuesto polifenólico que se encuentra naturalmente en las plantas (Res; 3,4',5-trihidroxiestilbeno) es un producto vegetal y se ha encontrado en altos niveles en las uvas, el maní, los arándanos, las moras, cacahuates, el cacao y el vino tinto, con efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antienvjecimiento, inmunomoduladoras, hipotensoras e hipolipidémicas (Giordo *et al.*, 2020). Los efectos benéficos del RES no solo son debido a su acción antiinflamatoria, sino también a la prevención y el tratamiento del cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas, obesidad, antienvjecimiento, (antimutagénico y neuroprotector), procesos ya bien establecidos en diversas especies animales como el pez cebra (Meng *et al.*, 2020).

Algunos estudios han confirmado que el RES tiene una potente actividad antioxidante asociada a la presencia de tres grupos hidroxilo en su estructura. El RES tiene un efecto inhibitor sobre la producción excesiva de especies reactivas de oxígeno (ERO's), la disrupción mitocondrial aberrante y la peroxidación lipídica. El RES conduce a un aumento del glutatión generado endógenamente y a una reducción cuantitativa del entorno redox celular y de la producción endógena de ERO's (Bononi *et al.*, 2022). También, el RES es un activador químico de sirtuina 1 (SIRT1) y puede indicar que SIRT1 es importante para mantener la homeostasis entre prooxidantes y antioxidantes en las mitocondrias y ejercer efectos antiinflamatorios (Wang *et al.*, 2022).

Es importante mencionar que aún se desconocen los efectos antagónicos y sinérgicos del RES como antioxidantes, antiinflamatorios y antienvjecimiento. Por lo que es necesario investigar la farmacocinética y la farmacodinamia ya que el consumo excesivo de RES provoca daños renales (Chen *et al.*, 2021).

Las acciones antiinflamatorias del RES y la de algunos mecanismos celulares, han sido descritas en modelos animales *in vivo*. El tratamiento a largo plazo del pez *Nothobranchius guentheri*, con RES revirtió varias actividades asociadas a la senescencia en el intestino, incluidos los niveles de regulación negativa de citocinas proinflamatorias IL-8 y TNF α y la regulación positiva de la expresión de la citoquina antiinflamatoria IL-10 (Liu *et al.*, 2018; Tavener *et al.*, 2020).

Conforme avanza el envejecimiento, los animales experimentan una serie de cambios progresivamente degenerativos y se vuelven más sensibles a los estímulos internos y externos, lo que lleva a un incremento del estrés oxidativo, la acumulación de la inflamación, la apoptosis de las células y el daño a las estructuras y funciones de las células y órganos (Pyo *et al.*, 2020).

Además, diversos estudios destacan su importancia en el tratamiento del envejecimiento a través de la supresión del estrés oxidativo, la inhibición de la respuesta inflamatoria, la mejora de la función mitocondrial y la modulación de la apoptosis (Zhou *et al.*, 2021). En esta revisión, resumimos la acción del RES como antioxidante, antiinflamatorio, antienvjecimiento, usando como modelo animal el pez.

Revisión de literatura

En el desarrollo de este trabajo, se recopilaron artículos científicos disponibles en las bases de datos: *Medline*, *ScienceDirect*, *Scopus*, el buscador *Google académico* y la biblioteca digital de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (BidiUAM). La información seleccionada es de reciente publicación, y preferentemente con factor de impacto. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda de información fueron: peces, resveratrol (mecanismo de acción), antioxidantes, inflamación y envejecimiento. Cada uno de los conceptos se combinó con operadores booleanos como “and”, “or” o “not” para la recuperación de la información. La revisión de literatura está basada en artículos de revisión y principalmente artículos de investigación.

Resveratrol en el estrés oxidativo, la inflamación y el envejecimiento

Estudios realizados en peces como el *Fabius maximus* indican que el resveratrol podría atenuar el estrés oxidativo y la respuesta inflamatoria inducida por la harina de soya como sustituto de harina de pescado en la alimentación de peces (Tan *et al.*, 2019). La administración del RES en el agua del pez cebra, es absorbido rápidamente por los vasos sanguíneos de las branquias y la piel. Los compuestos se difunden a través de la circulación sistémica y alcanzaron el tejido diana, que luego producirá una respuesta (Sheng *et al.*, 2018).

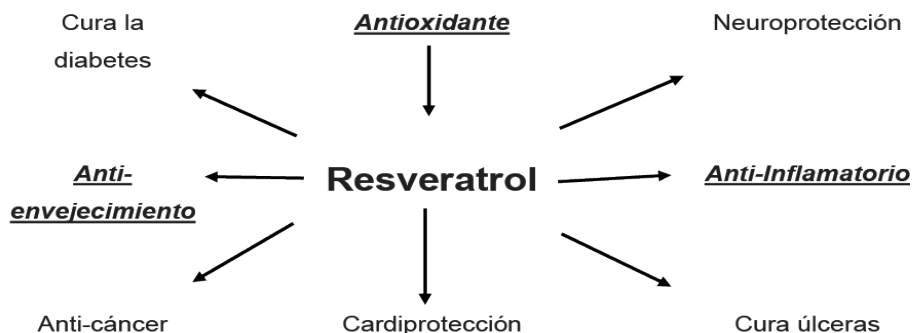
El RES y sus precursores administrados por bioencapsulación, inician su recorrido por el tracto gastrointestinal de los animales y únicamente el 70 al 80% es absorbido y solo el 1% es biodisponible. Después de su absorción en el intestino, el RES se une a proteínas y la solubilidad de estos influirá en su absorción o eliminación en las heces. La absorción de RES en el intestino es por difusión pasiva a los enterocitos, o formando complejos con transportadores de membrana intestinal, incluidas las integrinas (Chaplin *et al.*, 2018). En el intestino el RES es transformado por la microbiota intestinal

en diferentes metabolitos: dihidroresveratrol (DHR), que se absorbe parcialmente y luego se metaboliza en dos formas conjugadas: monosulfato (DHR) y monoglucurónido (DHR). Un análisis de la biodisponibilidad de estos metabolitos microbianos indica que tras la ingesta diaria de 500 mg de trans-resveratrol puro, la concentración del metabolito en plasma aumentó de 3 a 13 μM (Cuciniello *et al.*, 2023). Los niveles bajos de RES en sangre son debido a la glucuronidación extensa en el hígado y el intestino y la sulfatación en el hígado, disminuyendo así su biodisponibilidad hasta en un 1% en los peces cebra (Wang *et al.*, 2022).

El RES tiene la capacidad de activar la SIRT1, que desacetila histonas y proteínas no histonas, incluidos los factores de transcripción. La SIRT1 está involucrada en diversos procesos metabólicos, incluida la resistencia al estrés, la senescencia celular, las funciones endoteliales y la supervivencia celular, por lo que se sugiere que el RES puede ser beneficioso en enfermedades asociadas con el estrés oxidativo, la inflamación y el envejecimiento (Figura 1). Además, mejora la función mitocondrial y la regulación de la apoptosis defectos del ciclo celular y trastornos metabólicos (Zhou *et al.*, 2021).

Hace unas dos décadas se reportaron numerosos beneficios del resveratrol, incluida la mitigación del estrés en el retículo endoplásmico, la activación de vías de señalización celular críticas, la promoción de la actividad de la superóxido dismutasa (SOD) y la modulación de la transcripción de genes inmunes y relacionados con el crecimiento, como la interleucina 6 (IL-6), el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), el factor de crecimiento transformante beta 1 (TGF- β 1) y el potenciador de la cadena ligera del factor nuclear kappa de las células B activadas (NFkB), que están involucrados en la carcinogénesis y el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, metabólicas y neurodegenerativas (Drabińska *et al.*, 2022; Kari *et al.*, 2024).

Figura 1. El resveratrol ha sido implicado como un antioxidante, antiinflamatorio y anti-envejecimiento



Mecanismo antioxidante del resveratrol en los peces

Los contaminantes ambientales como el amoníaco (NH_3), induce estrés en los animales acuáticos. Las fuentes de NH_3 en un sistema de acuícola incluyen la intensificación de la agricultura, uso indiscriminado de fertilizantes y la contaminación de plantas y animales (Duan *et al.* 2021). Altas concentraciones de NH_3 en los sistemas intensivos acuícolas desencadena estrés oxidativo e inflamación en animales acuáticos, aumentando la producción de ERO's, afectando el sistema antioxidante de defensa e incrementando la mortalidad (Kari *et al.*, 2024).

Las altas concentraciones de NH_3 en agua provocan daño hepático en las tilapias. El uso de RES en la alimentación de las tilapias a diferentes dosis (0,3 y 0,6 g/kg de dieta) durante 60 días, mejoró significativamente la lesión hepática inducida por el NH_3 , al aumentar la capacidad antioxidante y suprimir el estrés oxidativo. El RES también activó la vía de señalización del factor 2 relacionado con el eritroide 2 (Nrf2) y mejoró los niveles de ARNm de la hemo oxigenasa 1 (HO-1), NAD (P) H: quinona oxidoreductasa 1 (NQO-1) y glutatión S-transferasa (GST). Mientras tanto, el tratamiento con resveratrol reprimió la vía de señalización TLR2-Myd88-NF- κ B para disminuir la respuesta inflamatoria inducida por el NH_3 (Jia *et al.*, 2019).

Otra causa de estrés oxidativo es producida por otros contaminantes como los minerales, es un fenómeno que ocurre en los animales y está relacionado con la presencia de radicales libres (oxidantes) y antioxidantes (reductores). El desequilibrio entre los radicales libres y los antioxidantes (endógenos y exógenos) en los modelos animales crea un estado conocido como estrés oxidativo (Pizzino *et al.*, 2017). En algunas ocasiones, los antioxidantes presentes no pueden eliminar las especies reactivas de oxígeno (ERO's) de los peces (Gu *et al.*, 2021).

En condiciones normales, las enzimas antioxidantes, como la catalasa, la superóxido dismutasa y la glutatión-S-transferasa, eliminan las ERO's producidas durante la respiración oxidativa mitocondrial. Las ERO's se dividen en radicales libres (O_2^- y OH^-) y radicales no libres (H_2O_2). Sin embargo, cuando hay estimulación por factores nocivos, como la radiación ultravioleta y los reactivos químicos, los sistemas de defensa se dañan y contribuyen a la acumulación excesiva de ERO's lo que lleva a un desequilibrio en el estrés oxidativo (Gu *et al.*, 2021).

Cuando se produce estrés oxidativo en los peces, los niveles excesivos de ERO's atacan los ácidos grasos poliinsaturados en las membranas celulares, lo que resulta en peroxidación de liposomas y peróxidos lipídicos. El malondialdehído (MDA), un producto importante de la peroxidación lipídica, también es un indicador importante para medir el grado de daño celular. Además, bloquea las vías de las enzimas, deteniendo la división celular, la destrucción del ADN y deteniendo la producción de energía (Hematyar *et al.*, 2019; Al-Mamary y Moussa, 2021).

Estudios realizados en el modelo animal pez cebra, para conocer el efecto protector del RES contra la toxicidad inducida con nanopartícula de ZnO (NPZnO) *in vivo*, demuestran que el RES previene el daño morfológico y la función cardíaca, durante el desarrollo embrionario. Además, el antioxidante inhibe los incrementos de las ERO's, previene la disfunción del potencial de membrana mitocondrial y contrarresta la apoptosis/necrosis celular provocada por las nanopartículas ZnO (NP ZnO) (Giordo *et al.*, 2020). En la Tabla 1 se muestran algunas dosis de RES en algunas especies de peces y su efecto como antioxidante.

Tabla 1. Efectos antioxidantes del resveratrol en peces

Dosis de resveratrol-Duración	Animales acuáticos (etapa de vida/peso)	Impacto
0,1-0,6 g/kg de dieta-60 días	Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) (99 g)	Aumenta la capacidad antioxidante; Aliviar el estrés oxidativo (Jia <i>et al.</i> , 2019)
0,05 % del alimento– 8 semanas	Fabius <i>maximus</i> Rodaballo (7,5 g)	Aumentar la capacidad antioxidante; Aliviar el estrés oxidativo (Lamas <i>et al.</i> , 2009)
5 µM–baño 24–96 h	Zebrafish (<i>Danio rerio</i>) (larvas)	Aliviar el estrés oxidativo (Sheng <i>et al.</i> , 2018)
125 mg de RES	Cabeza de serpiente <i>Channa argus</i>	Mejora el estado antioxidante (Tian <i>et al.</i> , 2021) (Tian <i>et al.</i> , 2021)
25 µg/pez/día	<i>Nothobranchius guentheri</i>	Actividad antioxidante (Liu <i>et al.</i> , 2017)

Adaptado de Kari *et al.*, 2024.

A este respecto, en algunos experimentos de dosis-respuesta, se demostró que 5 µM de RES fue incapaz de afectar los niveles de ERO's en embriones de pez cebra, cuando fueron sometidos a NP ZnO. Por lo tanto, para evaluar el efecto protector del RES sobre la letalidad inducida por NP ZnO, se realizaron ensayos de recuperación, tratando embriones de 24 a 96 horas post fertilización (hpf) con 3 µg/mL de NPs ZnO (LC50) en presencia/ausencia de 5 µM de RES. El tratamiento del pez cebra con RES fue capaz de aumentar considerablemente la tasa de supervivencia de los embriones tratados con 3 mg/L de NP ZnO (48% de supervivencia) en comparación con el no tratado con RES (68% de supervivencia) reduciendo la mortalidad del 52 al 32% (Giordo *et al.*, 2020).

Un estudio más con minerales en peces cebras, fue realizado para explorar los posibles mecanismos protectores renales del RES en el modelo de pez cebra inducido por la exposición a 1,5 mg/L de CdCl₂. El RES inhibió la deposición renal de colágeno, el estrés oxidativo y la inflamación, normalizó el estado antioxidante enzimático, reguló los factores relacionados con la transición epitelial-mesenquimal (TEM) y mejoró las expresiones del factor nuclear relacionado con 2 (Nrf-2), la hemo oxigenasa-1 (HO-1) y la subunidad catalítica de la ligasa de γ -glutamato cisteína ligasa (γ -GCLC). Este estudio agregó las evidencias de que el RES previno la deposición renal de colágeno, el estrés oxidativo y la inflamación a través de la regulación de Nrf-2. Además, proporciona nuevos conocimientos para comprender la naturaleza protectora del RES contra los daños renales inducidos por Cd (Hu *et al.*, 2017).

En el caso de la osteoporosis, se ha investigado los efectos del RES en el deterioro óseo inducido por doxorubicina (DOX, anticáncer) en el pez cebra. Se demostró que la DOX, aumenta la mortalidad, promueve deformidades esqueléticas, induce alteraciones en las vellosidades intestinales, afecta el crecimiento, la mineralización y regula significativamente a la baja los marcadores de diferenciación de osteoblastos osteocalcina 2 y osterix / sp7. La peroxidación lipídica aumentó significativamente con la suplementación con DOX, lo que sugiere la formación de ERO's como uno de los factores clave para la pérdida ósea inducida por DOX. Además, la DOX afectó el contenido mineral, reduciendo significativamente el Ca, P, Na, y K, lo que sugiere un metabolismo mineral alterado. Sin embargo, tras la suplementación con RES, se rescataron los efectos inducidos por DOX sobre el contenido mineral. Esto significa que la suplementación con RES en el alimento protegería contra el estrés oxidativo y la peroxidación lipídica inducido por las ERO's. También mejora el crecimiento general, la mineralización en el pez cebra y contrarresta las anomalías óseas inducidas por la DOX (Poudel *et al.*, 2022).

El uso del RES y su efecto en los problemas minerales del pez cebra, puede ser un enfoque útil para la extensión de la salud, así como la extensión de la duración de la vida. A pesar de que los antioxidantes pueden no servir como medicamentos, son muy prometedores e indirectamente brindan pistas en el uso futuro para combatir enfermedades relacionadas con la edad.

Mecanismo biológico del envejecimiento

El RES ha generado un intenso interés científico y público, principalmente debido a su capacidad ampliamente reportada para prevenir el cáncer, retrasar el envejecimiento y aliviar enfermedades metabólicas (Meng *et al.*, 2023). El envejecimiento es causado por factores estresantes celulares endógenos y exógenos, que reducen la capacidad innata de recuperación celular. El envejecimiento es causado por cambios en la información genética, la estructura cromosómica y la homeostasis de las proteínas. Por ejemplo, inestabilidad genómica, el acortamiento de los telómeros, alteraciones epigenéticas, pérdida de la proteostasis, detección en la desregulación de nutrientes, senescencia celular, agotamiento de cé-

lulas madre, disfunción mitocondrial, alteraciones en la comunicación intracelular, que aumentan durante el envejecimiento de las células, tejidos y la acumulación del daño en la célula puede acelerar aún más el proceso de envejecimiento (Pyo *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021).

La senescencia celular ocurre en respuesta a muchos desencadenantes diferentes, incluido el daño al ADN, la disfunción de los telómeros. En los fenotipos de envejecimiento, las ERO's muestran efectos bifásicos complejos, la activación de oncogenes y el estrés de los orgánulos, y se ha relacionado con procesos como la supresión tumoral, la reparación de tejidos, la embriogénesis y el envejecimiento del organismo. Este proceso puede verse como la degeneración progresiva de los tejidos, que resultan en una disminución de la funcionalidad del organismo completo, conforme avanza la edad (Neves y Sousa-Victor, 2020). La compleja interconexión entre los fenotipos y procesos de envejecimiento, el desarrollo de estrategias óptimas contra el envejecimiento ha resultado difícil. Los resultados recientes de estudios fitoquímicos sugieren un enfoque potencial para ralentizar el proceso de envejecimiento en los animales y reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con la edad, lo que puede mejorar la vida útil y la salud (Pyo *et al.*, 2020; Di Micco *et al.*, 2021).

Un modelo para estudiar las principales consecuencias del envejecimiento es el daño en la retina asociado a el glaucoma. El modelo animal pez cebra se ha utilizado ampliamente para probar el efecto de diferentes sustancias antiinflamatorias y antienvjecimiento en el metabolismo de la retina. Los estudios demuestran que concentraciones de 50 mg/L de RES, aumentaron la expresión del gen SIRT1, sirtuinas mitocondriales y genes mitocondriales (OPA1 y Fis1) en la retina, con influencia en retrasar la senescencia (Sheng *et al.*, 2019).

Otro estudio en el que se administró RES apoya la idea de que la disfunción mitocondrial y el aumento de la actividad de Akt/mTOR son los principales actores en la neuropatía retiniana relacionada con la edad en el pez cebra, demuestran una tendencia hacia fragmentación mitocondrial en el envejecimiento de la retina. Es importante destacar que el RES (20mg/L durante 1 a 10 días), ayudó a la recuperación de la mayoría de los cambios relacionados con el envejecimiento de los peces. Además, promovió la función mitocondrial, regulando al alza Ampk/Sirt1/Pgc1 α y regulando a la baja la actividad de la vía Akt/mTOR en las retinas de pez cebra, lo que sugiere que puede ser capaz de prevenir la oculopatía relacionada con la edad (Wang *et al.*, 2019).

Los trabajos que abordan el uso de RES en el envejecimiento de las retinas en el pez cebra, postulan que la alta demanda de nutrición y energía activará el mTOR, que promueve la fisión mitocondrial para aumentar la producción de ATP y suprime la fusión para compensar la disminución de la función mitocondrial. El aumento del consumo de O₂ y la inflamación conducen a la acumulación de exceso de ERO's y un aumento de la oxidación para dañar el ADNmt (Wang *et al.*, 2019).

En el caso de las enfermedades renales la mayoría de los medicamentos son de origen sintético. Por lo que actualmente, el RES se ha convertido en un potencial agente antienvjecimiento. Este compuesto ejerce sus efectos antienvjecimiento en el riñón del pez cebra interviniendo en diversas

patologías y sistemas de señalización múltiple, entre ellos media la AMPK α -SIRT1-Vía PPAR γ , factor nuclear- κ B y el metabolismo de los lípidos. Sin embargo, aún no están completamente detallados los mecanismos a nivel molecular (Ran *et al.*, 2017; Uddin *et al.*, 2021).

Otro informe realizado en peces cebra, demostraron que 27 hidroxicoolesterol (27HC), indujo senescencia y envejecimiento de las células neurales en la médula espinal neural. El 27HC indujo la acetilación de STAT3 (su activación desencadena cambios relacionados con el envejecimiento, la inflamación y el ciclo celular que conduce a la senescencia de las células neuronales y al envejecimiento del organismo), a través de SIRT1 (una proteína desacetilasa de clase III, desempeña potencialmente un papel en la diabetes, la inflamación y la neurodegeneración) y la disminución inducida por 27HC en SIRT1 se asoció con la metilación mediada por las ERO's. Estos mismos autores reportaron que el uso del RES atenuó la senescencia inducida por 27HC al inhibir señalización de STAT3 a través de SIRT1 en células neuronales del pez cebra. Afirmando que, el RES mejoró la senescencia inducida por el 27HC en células neurales y aparato locomotor de pez cebra afectado (Liu *et al.*, 2021).

Estos resultados son similares a los obtenidos en otro modelo animal el pez (*Nothobranchius guentheri*), que muestra que el RES podría aumentar la expresión de SIRT1 y reducir el fenotipo secretor asociado a la senescencia a través de la vía SIRT1 / NF- κ B en el intestino del pez *Nothobranchius guentheri*. El RES también ha demostrado beneficios en enfermedades neurodegenerativas, que son un grupo de trastornos crónicos y progresivos caracterizados por la pérdida gradual de neuronas en varias áreas del sistema nervioso central (SNC) (Liu *et al.*, 2018).

Otro estudio *in vivo* en el pez *Nothobranchius guentheri* mostró que la suplementación (200 μ g/g de alimento durante 16 semanas) de RES extendió la vida útil de este pez anual. Sin embargo, no tuvo ningún efecto sobre su tamaño corporal. Los peces suplementados con RES conservaron mejores actividades cognitivas y locomotoras que el grupo control. Además, el RES retrasó los marcadores histológicos relacionados con el envejecimiento, incluida la expresión de la actividad de la β -galactosidasa asociada a la senescencia y la formación de lipofuscina (Zhou *et al.*, 2021).

Actividad antiinflamatoria del resveratrol

La respuesta inflamatoria se inicia con la detección de señales moleculares de origen exógeno y endógeno. Es un proceso de múltiples etapas que involucra múltiples tipos de células, así como señales mediadoras. La inflamación es una respuesta adaptativa, que puede ser desencadenada por varias señales de peligro, como la invasión de microorganismos o lesiones tisulares. Se han descrito dos inductores a) exógenos son microbios (patrones moleculares asociados a patógenos (PMAP), factores de virulencia y de origen no microbiano (alérgenos, irritantes, cuerpos extraños y compuestos tóxicos) y b) endógenos se producen como señales contra el estrés o el daño (derivados de células, de tejidos, de plasma o de se-

ñales de la matriz extracelular y en condiciones normales localizado intracelular o integrado a la matriz extracelular (Herold y Mrowka, 2019).

Las moléculas de señalización exógenas y endógenas se conocen como patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) y patrones moleculares asociados al daño (DAMPs), respectivamente. Tanto los PAMPs como los DAMPs son reconocidos por varios receptores de reconocimiento de patrones (PRR), como los receptores tipo Toll (TLR). La activación de PRR induce cascadas de señalización intracelular, como quinasas y factores de transcripción. Las vías de señalización mencionadas anteriormente pueden promover la producción de una variedad de mediadores inflamatorios como las citocinas (interleucina (IL-1 β) y factor de necrosis tumoral- α (TNF α),) para el desarrollo de la inflamación (Meng *et al.*, 2021).

El uso de 500 mg de RES/Kg de alimento en los peces *Fabius maximus*, mejoró significativamente los niveles de ARNm de la citocina antiinflamatoria factor de crecimiento transformante β e inhibió la expresión de las citocinas proinflamatorias factor de necrosis tumoral α (tnf- α), interleucina-1 β (il-1 β) e interleucina-8. (il-8) (Tan *et al.*, 2019).

En esta misma especie *Fabius maximus* se explora el uso de soya como fuente proteica y RES 500 mg/kg de alimento como suplemento para estudiar el efecto en la inflamación intestinal de los peces. Los resultados indican que el resveratrol podría atenuar el estrés oxidativo y la respuesta inflamatoria inducida por la harina de soya en los peces. Los resultados obtenidos fueron que el resveratrol mejoró significativamente los niveles de ARNm del factor de crecimiento transformador de citoquinas antiinflamatorias- β e inhibió la expresión de citoquinas proinflamatorias factor de necrosis tumoral- α (TNF- α), interleucina-1 β (il-1 β) e interleucina-8 (il-8).

Este estudio muestra que el resveratrol es un compuesto con propiedades antiinflamatorias eficaz para los peces carnívoros alimentados con fuentes de proteínas vegetales (Tan *et al.*, 2019).

Efecto antiinflamatorio del resveratrol en la diabetes

La diabetes provoca un cambio en el metabolismo sistémico de la glucosa que conduce a anomalías funcionales y estructurales. El efecto multifactorial es la hiperglucemia, la resistencia a la insulina, la hipertensión, la dislipidemia y la inflamación que dañan el endotelio, resulta en daño microvascular y macrovasculopatía. Los mecanismos involucrados incluyen la disminución del transporte de glucosa, oxidación de carbohidratos, mayor utilización de ácidos grasos libres (AGL), disminución del transporte de calcio del sarcolema y un cambio en las proteínas reguladoras (van de Venter *et al.*, 2021).

En cuanto a procesos metabólicos realizados sobre diabetes tipo 2 en peces cebra se ha indicado que tratamiento con 30 μ mol/L de RES podría mejorar el rendimiento mediado por el metabolismo al reducir la glucosa en sangre, aumentar la absorción de alimentos en el tejido intestinal y reducir la

expresión de genes de inflamación. El mecanismo de control de la glucosa en sangre es probablemente a través del efecto del RES sobre los canales de potasio dependientes de ATP en las mitocondrias de las células β pancreáticas y la reducción de su hiperpolarización a través de la reducción de ATP; dado que aumentar la relación ATP/ADP es esencial para la secreción de insulina. Además, reduce la secreción de insulina tras un aumento de la sensibilidad a la insulina en los tejidos (Faal *et al.*, 2022).

Órganos inflamados

Se sabe que el islote pancreático que alberga las células β productoras de insulina, sufre alteraciones relacionadas con la edad. Sin embargo, solo se han identificado un puñado de señales asociadas con el envejecimiento. Al comparar las células β del pez cebra joven y viejo, se ha identificado que los islotes envejecidos exhiben signos de inflamación crónica. Estos incluyen el reclutamiento de macrófagos que expresan FNT α y la activación de la señalización de NF-kB en las células β (Janjuha *et al.*, 2018).

Un mecanismo parecido al reclutamiento de macrófagos es el que realizaron para determinar las propiedades anti-inflamatorias del RES en el pez cebra en las heridas de la aleta caudal. Sin embargo, los resultados mostraron que el reclutamiento de neutrófilos inducido por heridas en el pez cebra no se vio afectado por el RES, pero la actividad enzimática de la mieloperoxidasa (Mpx) en el pez cebra sí lo fue significativamente cuando se administró el RES de una manera dependiente de la dosis. Estos resultados proporcionan evidencia *in vivo* de los efectos del RES sobre la inflamación inducida por heridas están mediados significativamente a través de la supresión de Mpx (Liao *et al.*, 2011).

En la última década se ha informado que el RES exhibe actividad antiinflamatoria a través de la regulación a la baja de las respuestas inflamatorias, pero el mecanismo molecular aún no se comprende completamente.

CONCLUSIÓN

Los estudios recuperados para la elaboración de este trabajo muestran que el RES tiene un enorme potencial en la prevención y el tratamiento como antioxidante, antiinflamatorio y antienvjecimiento. El RES posee propiedades para ampliar la vida y sobre todo de protección contra una serie de enfermedades asociadas con la edad, como enfermedades degenerativas (diabetes, osteoporosis, heridas, retina, glaucoma y enfermedades renales por daños minerales). Es recomendable, estudiar los efectos antagónicos y sinérgicos del RES con otros compuestos naturales para la planeación estratégica de los nuevos tratamientos antioxidantes, antiinflamatorios y antienvjecimiento. Se requiere aun de mucha investigación para determinar la farmacocinética y la farmacodinamia ya que el consumo excesivo de RES provoca daños renales.

Actualmente se le ha dado mucha importancia a la microbiota intestinal en el mantenimiento de la salud, por lo que proponemos que es importante estudiar el efecto antioxidante, antiinflamatorio y antienvjecimiento del RES en la regulación de la microbiota intestinal, con el objetivo de incrementar la esperanza de vida humana y animal.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Mamary, M. A and Moussa, Z. (2021). “Antioxidant Activity: The Presence and Impact of Hydroxyl Groups in Small”, *Molecules of Natural and Synthetic Origin*. 1-28. 10.5772/intechopen.95616.
- Bononi, I. Tedeschi, P. Mantovani, V. Maietti, A. Mazzoni, E. Pancaldi, C.; Brandolini, V. Tognon, M. (2022). Antioxidant Activity of Resveratrol Diastereomeric Forms Assayed in Fluorescent-Engineered Human Keratinocytes. *Antioxidants* 2022, 11, 196. <https://doi.org/10.3390/antiox11020196>
- Chaplin, A., Carpené, C., Mercader, J. (2018). “Resveratrol, Metabolic Syndrome, and Gut Microbiota”, *Nutrients*. 3;10(11):1-29.
- Chen, X., Li, H., Zhang, B., Deng, Z. (2021). The synergistic and antagonistic antioxidant interactions of dietary phytochemical combinations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 62(20): 1-20.
- Cuciniello, R., Di Meo, F., Filosa, S., Crispi, S., Bergamo, P. (2023). “The Antioxidant Effect of Dietary Bioactives Arises from the Interplay between the Physiology of the Host and the Gut Microbiota: Involvement of Short-Chain Fatty Acids”, *Antioxidants* 12:1-22.
- Di Micco, R., Krizhanovsky, V., Baker, D., diFagagna, F.A. (2021). “Cellular senescence in ageing: from mechanisms to therapeutic opportunities”. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 22:75–95.
- Drabińska, N., Jarocka-Cyrta, E. (2022). “Crosstalk between Resveratrol and Gut Barrier: A Review”, *Int. J. Mol. Sci*, 23:1-16.
- Duan, Y., Xiong, D., Wang, Y., Li, H., Dong, H., Zhang, J. (2021). Toxic effects of ammonia and thermal stress on the intestinal microbiota and transcriptomic and metabolomic responses of *Litopenaeus vannamei*. *Sci Total Environ* 754:141867
- Faal, M., Manouchehri, H., Changizi, R. Bootorabi, F., Khorramizadeh, M.R. (2022). “Assessment of resveratrol on diabetes of zebrafsh (Danio rerio)”, *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 21:823–833
- Giordo, R., Nasrallah, G.K., Al-Jamal, O., Paliogiannis, P., and Pintus, G. (2020). “Resveratrol Inhibits Oxidative Stress and Prevents Mitochondrial Damage Induced by Zinc Oxide Nanoparticles in Zebrafish (Danio rerio)”, *Int. J. Mol. Sci*, 3838 1-17.

- Gu, T., Wang, N., Wu, T., Ge, G., 3 and Chen, L. (2021) “Antioxidative Stress Mechanisms behind Resveratrol: A Multidimensional Analysis”, *Journal of Food Quality*, 2021:1-12.
- Herold, K. and Mrowka, R. (2019). “Inflammation – dysregulated inflammatory response and strategies for treatment”, *Acta Physiologica*, 226(3):1-4.
- Hu, J., Zhang, B., Du, L., Chen, J., and Lu, Q. (2017). “Resveratrol ameliorates cadmium induced renal oxidative damage and inflammation”, *Int J Clin Exp Med* 10(5):7563-7572.
- Janjuha, S., Singh, S.P., Tsakmaki, A., Mousavy Gharavy, S.N., Murawala, P., Konantz, J., Birke, S., Hodson, D.J., Rutter, G.A., Bewick, G.A., Ninov, N. (2018). “Age-related islet inflammation marks the proliferative decline of pancreatic beta-cells in zebrafish”, *eLife*, 7:1-24.
- Jia, R., Li, Y., Cao, L., Du, J., Zheng, T., Qian, H., Gu, Z., Jeney, G., Xu, P., Yin, G. (2019). Antioxidative, anti-inflammatory and hepatoprotective effects of resveratrol on oxidative stress-induced liver damage in tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 215: 56-66,
- Kari, Z.A. TéllezIsaías, G. Irwan, M.K. Wee, W. Anamul, K.M. Cheadoloh, R. Seong, W. L. (2024). Resveratrol impacts on aquatic animals: a review, *Fish Physiol Biochem*, 50:307–318.
- Lamas, J., Morais, P., Arranz, J.A., Sanmartín, M.L., Orallo, F., Leiro, J. (2009). Resveratrol promotes an inhibitory effect on the turbot scuticociliate parasite *Philasterides dicentrarchi* by mechanisms related to cellular detoxification. *Vet Parasitol.* 12;161(3-4):307-15.
- Li, Z., Zhang, Z., Ren, Y. *et al.* (2021). “Aging and age-related diseases: from mechanisms to therapeutic strategies”, *Biogerontology*, 22:165–187.
- Liao, Y.F., Chiou, M.C., Tsai, J.N., Wen, C.C., Wang, Y.H., Cheng, C.C., and Chen, Y.H. (2011). “Resveratrol treatment attenuates the wound-induced inflammation in zebrafish larvae through the suppression of myeloperoxidase expression,” *Journal of Food and Drug Analysis*, 19(2):167–173.
- Liu, T., Ma, L., Zheng, Z., Li, F., Liu, S., Xie, Y., and Li, G. (2017). Resveratrol inhibits age-dependent spontaneous tumorigenesis by SIRT1-mediated post-translational modulations in the annual fish *Nothobranchius guentheri*. *Oncotarget.* 15;8(33):55422-55434
- Liu, S., Zheng, Z., Ji, S., Liu, T., Hou, Y., *et al.* (2018) Resveratrol reduces senescence-associated secretory phenotype by SIRT1/NF- κ B pathway in gut of the annual fish *Nothobranchius guentheri*. *Fish and Shellfish Immunol* 80:473-479.
- Liu, J., Jiao, K., Zhou, Q., Yang, J., Yang, K., Hu, C., Zhou, M., Li, Z. (2021). “Resveratrol Alleviates 27-Hydroxycholesterol-Induced Senescence in Nerve Cells and Affects Zebrafish Locomotor Behavior via Activation of SIRT1-Mediated STAT3 Signaling”, *Oxid Med Cell Longev*, 21;1-17.
- Liu, S., Zheng, Z., Ji, S., Liu, T., Li, S., Li, G. (2018). “Resveratrol reduces senescence associated secretory phenotype by SIRT1/NF- κ B pathway in gut of the annual fish *Nothobranchius guentheri*,” *Fish & Shellfish Immunology*, 80: 473–479.

- Meng X., Zhou J., Zhao C. N., Gan R. Y., Li H. B. (2020). Health benefits and molecular mechanisms of resveratrol: a narrative review. *Food*, 9:1-27.
- Meng, T., Xiao, D., Muhammed, A., Deng, J., Chen, L., He, J. (2021). “Anti-Inflammatory Action and Mechanisms of Resveratrol”, *Molecules*, 26(229):1.15.
- Meng, Q., Li, J., Wang, C. and Shan, A. (2023). “Biological function of resveratrol and its application in animal production: a review”. *J Animal Sci Biotechnol*, 14(25): 1-23.
- Neves, J and Sousa-Victor, P. (2020). “Regulation of inflammation as an anti-aging”, *The FEBS Journal*, 287:43–52.
- Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., Bitto, A. (2017). Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxid Med Cell Longev*. 8416763: 1-13.
- Poudel, S., Martins, G., Cancela, M.L., Gavaia, P.J. (2022). “Regular Supplementation with Antioxidants Rescues Doxorubicin-Induced Bone Deformities and Mineralization Delay in Zebrafish”, *Nutrients*, 14:1-18.
- Pyo, S., Yun, S., Yoon, Y. E., Choi, J.-W., and Lee, S.-J. (2020). “Mechanisms of aging and the preventive effects of resveratrol on age-related diseases,” *Molecules*, 25 (20):1-17.
- Ran, G., Ying, L., Li, L., Yan, Q., Yi, W., Ying, C., Wu, H., Ye, X. (2017). “Resveratrol ameliorates diet-induced dysregulation of lipid metabolism in Zebrafish (*Danio rerio*)”, *PLoS ONE*, 12(7):1-15.
- Sheng, W., Lu, Y., Mei, F., Wang, N., Liu, Z.Z., Han, Y.Y., Wang, H.T., Zou, S., Xu, H., Zhang, X. (2018). “Effect of Resveratrol on Sirtuins, OPA1, and Fis1 Expression in Adult Zebrafish Retina”, *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 4;59(11):4542-4551.
- Tan, C., Zhou, H., Wang, X., Mai, K., & He, G. (2019). Resveratrol attenuates oxidative stress and inflammatory response in turbot fed with soybean meal based diet. *Fish & Shellfish Immunology*, 91, 130–135.
- Tavener, S.K., and Panickar, K.S. (2020). Anti-Inflammatory Effects of Resveratrol and Related Polyphenols Contribute to their Potential Beneficial Effects in Aging. *J Food Sci Nutr* 6: 079:1-11.
- Tian, J., Han, G., Li, Y., Zhao, L., & Wang, G. (2021). Effects of resveratrol on growth, antioxidative status and immune response of snakehead fish (*Channa argus*). *Aquaculture Nutrition*, 27, 1472–1481.
- Uddin, M.J., Farjana, M., Moni, A., Hossain, K.S., Hannan, M.A., Ha, H. (2021). “Prospective Pharmacological Potential of Resveratrol in Delaying Kidney Aging”, *Int. J. Mol. Sci*, 22:1-28.
- van de Venter, M., Didloff, J., Reddy, S., Swanepoel, B., Govender, S., Dambuza, N.S., Williams, S., Koekemoer, T.C., Venables, L. (2021). “Wild-Type Zebrafish (*Danio rerio*) Larvae as a Vertebrate Model for Diabetes and Comorbidities: A Review”, *Animals*, 11(54): 1-21.
- Wang, N., Luo, Z., Jin, M., Sheng, W., Wang, H.T., Long, X., Wu, Y., Hu, P., Xu, H., Zhang, X. (2019). “Exploration of age-related mitochondrial dysfunction and the anti-aging effects of resveratrol in zebrafish retina”, *Aging (Albany NY)*, 19;11(10):3117-3137.

- Wang, Y., Hong, C., Wu, Z., Li, S., Xia, Y., Liang, Y., He, X., Xiao, X., Tang, W. (2022). "Resveratrol in Intestinal Health and Disease: Focusing on Intestinal Barrier", *Front Nutr.* 16(9):1-13.
- Wang, Q., Yu, Q. and Wu, M. (2022). Antioxidant and neuroprotective actions of resveratrol in cerebrovascular diseases. *Front. Pharmacol.* 13:948889. doi: 10.3389/fphar.2022.948889
- Zhou, D.D., Luo, M., Huang, S.Y., Saimaiti, A., Shang, A., Gan, R.Y., Li, H.B. (2021). "Effects and Mechanisms of Resveratrol on Aging and Age-Related Diseases", *Oxid Med Cell Longev*, 11:1-15.

Producción y comercio de la carne en el mundo y en México

Katia Paola González Hernández¹, Omar Francisco Prado Rebolledo²
y Arturo César García Casillas^{3*}

Resumen. El conocimiento del mercado y el flujo comercial cárnico mundial es una valiosa herramienta para la promoción del crecimiento económico, el desarrollo y el alivio de la pobreza a nivel nacional. Por lo tanto, la presente investigación revisa el balance cárnico internacional/nacional y analiza cifras de los principales países productores, consumidores, importadores y exportadores de carne de cerdo, pollo y res. El consumo mundial de carne registró un poco más de 268.5 millones de t durante el 2022, con un ascenso de 0.9% en el 2023. Dos terceras partes de la carne consumida en el mundo corresponden a China, Estados Unidos (EUA) y la Unión Europea (UE). La mayor proteína cárnica consumida por China corresponde a la de cerdo (56.9 millones), en EUA es la de pollo (17.7 millones) y en la UE es la de cerdo (18.6 millones). La mayor ingesta cárnica/persona (119 kg/año) la tiene EUA. Durante el 2022 el mercado cárnico no fue ajeno a la inestabilidad generada por la guerra rusa-ucraniana y al impacto y al aumento en los precios internacionales de cereales forrajeros. No obstante, el sector cárnico mexicano presentó un incremento anual de 3.1%, con un consumo per cápita de 76.9 kg en carne de corte y 8.6 kg en carnes frías. La ingesta de pollo presentó el mayor volumen en México con 4.6 millones de t, seguido por la carne de cerdo con 2.7 y la de res con 2 millones de t.

Palabras clave: Comercio internacional, Comercio nacional, Carne de cerdo, Carne de pollo, Carne de res.

¹ Estudiante, Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, Universidad de Colima. e-mail: kgonzalez23@ucol.mx

² Profesor-Investigador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima. e-mail: omarrpr@ucol.mx

³ Profesor-Investigador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima.

* Autor para correspondencia. e-mail: cesargarciasillas@hotmail.com

Abstract. Knowledge of the global meat market and trade flow is a valuable tool for promoting economic growth, development, and poverty alleviation at the national level. Therefore, this research reviews the international/national meat balance and analyzes figures from the main producing, consuming, importing and exporting countries of pork, chicken, and beef. World meat consumption registered a little more than 268.5 million t during 2022, with an increase of 0.9% in 2023. Two thirds of meat consumed in the world correspond to China, the United States (USA), and the European Union (EU). The largest meat protein consumed by China is pork (56.9 million), in the USA it is chicken (17.7 million) and in the EU it is pork (18.6 million). The highest meat intake/person (119kg/year) is in the USA. During 2022, the meat market was not immune to the instability generated by the Russian-Ukrainian war and the impact and increase in international prices of feed grains. However, the Mexican meat sector presented an annual increase of 3.1%, with a per cápita consumption of 76.9 kg of cut meat and 8.6 kg of cold meats. Chicken intake presented the highest volume in Mexico with 4.6 million t, followed by pork and beef with 2.7 and 2 million t, respectively.

Keywords: International trade, National trade, Pork meat, Chicken meat, Beef meat.

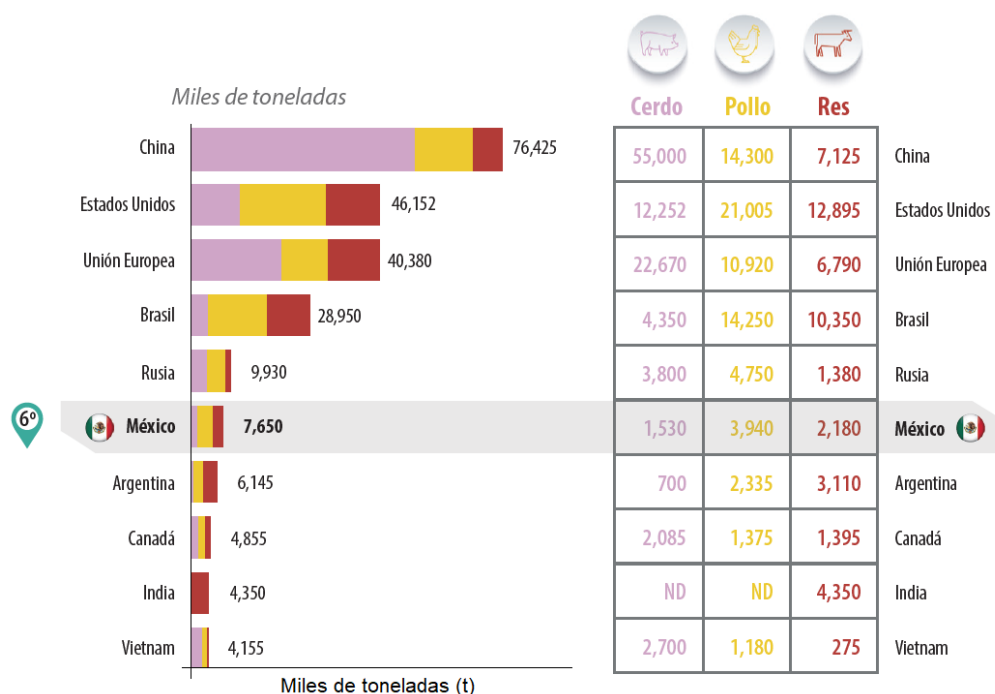
INTRODUCCIÓN

Una población en crecimiento requiere una mayor disponibilidad de alimentos y nutrientes. Durante el año 2022, la producción cárnica alcanzó los 274,274 miles de t en todo el mundo, el 95 % de esta producción estuvo disponible como alimento, lo que constituyó cerca del 8% de la masa alimentaria total. Además, proporcionó el 12% de la disponibilidad de energía alimentaria en el mundo, el 30% de la grasa dietética y el 22% de las proteínas. Por ello, el presente documento revisa el balance cárnico internacional/nacional y analiza cifras de los principales países productores, consumidores, importadores y exportadores de carne de cerdo, pollo y res. El documento está organizado de la siguiente manera. La sección 1 describe los shocks de oferta y demanda de la producción de carne a nivel mundial, sin separación por especie. La sección 2 explora el mercado nacional e internacional de la carne de cerdo. La sección 3 considera el mercado nacional e internacional de la carne de pollo. Finalmente, la sección 4 analiza el mercado nacional e internacional de la carne de res. En la revisión de sus principales indicadores comerciales: precio, producción, consumo y comercio internacional y nacional, se utilizó información de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, del Consejo Nacional de la Carne, de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, de la Red Nacional de Protección de Alimentos, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de diferentes publicaciones internacionales. Por lo tanto, la presente revisión, contribuye al campo de la ciencia administrativa y agropecuaria, como herramienta para establecer el estado de industria cárnica porcina, bovina y avícola en cifras, puntualizando el contexto mundial.

Oferta y demanda de la producción de carne a nivel mundial

Durante el año 2022, la producción cárnica a nivel mundial alcanzó las 274,274 miles de t (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023a), con un consumo de 268,566 miles de t, y una comercialización internacional que se cuantificó en 36,626 miles de t (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022). Esta comercialización mostró una ligera reducción con respecto al año 2021 (36,949 miles de t), debido a la depresión en los márgenes de ganancia por: i) incremento en el precio de los insumos (Greenwood, 2021), ii) condiciones climáticas desfavorables p. ej., sequía (Ercin *et al.*, 2021), iii) restricciones comerciales por Influenza Aviar Altamente Patógena (IAAP) y Fiebre Porcina Africana (FPA) (Woonwong *et al.*, 2020) y iv) reducción en la demanda cárnica China (Wang, 2022). Sin embargo, China sigue siendo el 1er productor de carne a nivel mundial (Figura 1), con 76,425 miles de t durante el año 2022, con la carne de cerdo (55,000 miles de t) como su principal proteína (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023d).

Figura 1. Volumen cárnico de los principales países/tipo de proteína, año 2022



Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

En 2do lugar se encuentra EUA, con 46,152 miles de t y la carne de pollo (21,005 miles de t) como su proteína más significativa (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023b). En 3er lugar se posicionó la UE con 40,380 miles de t, con la carne de cerdo (22,670 miles de t) como su principal proteína (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023d). México ocupó el 6to lugar con 7,650 miles de t y la carne de pollo (3,940 miles de t) como su proteína más significativa (National Union of Poultry Farmers, 2023).

En el consumo mundial aparente de carne EUA., Argentina y Brasil lideraron, con 119 kg/año/persona, 114 kg/año/persona, y 94 kg/año/persona, respectivamente (Consejo Nacional de la Carne, 2022) (Figura 2), mientras que China aumentó su consumo en un 17.3%, sumando 57 kg/año/persona (Organization for Economic Cooperation and Development & Food Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Por su parte, México ocupó el 6to lugar con un consumo de 73 kg/año/persona (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Figura 2. Consumo cárnico de los principales países, año 2022



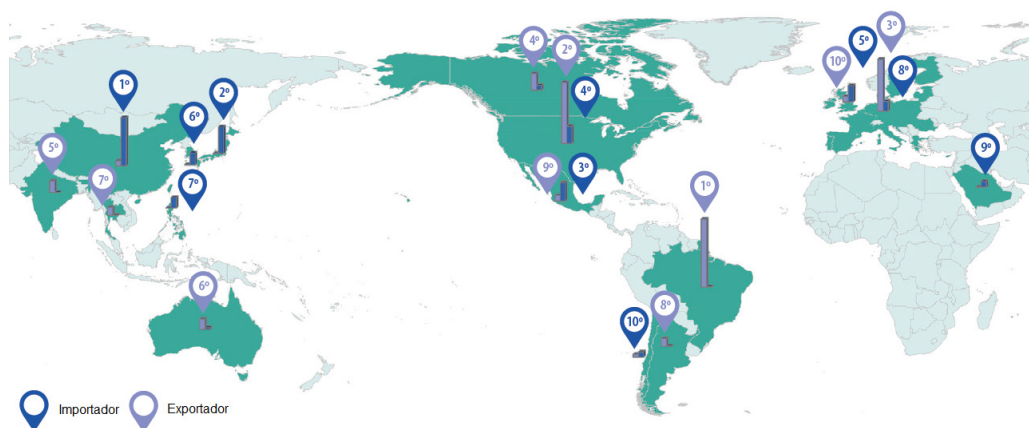
Fuente: (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Durante las primeras semanas de la contingencia por el SARS-CoV-2 (COVID-19), los productos cárnicos aumentaron de precio debido a bajas en la producción (United States Department of Agriculture, 2024), la dificultad para el abastecimiento de los insumos (International Poultry Council, 2020) y el aumento en la demanda por las compras de pánico (International Labour Organization, 2020). Después, tanto la producción y la demanda presentaron reducciones marcadas como consecuencia del confinamiento y un menor poder adquisitivo por parte de los consumidores (Marchant-Forde and Boyle, 2020). Lo anterior provocó la caída de precios en el mercado (Waltenburg *et al.*, 2020). Posteriormente, se presentaron cierres temporales en instalaciones de empaquetado a causa del esparcimiento del virus entre los trabajadores (Aday and Aday, 2020). Esto afectó a la cadena de suministro por i) la disminución de mano de obra por enfermedad (Saitone *et al.*, 2022), ii) la suspensión de labores en los centros de trabajo por el confinamiento obligatorio (Saitone *et al.*, 2021) y iii) las restricciones en el transporte de animales (Taylor *et al.*, 2020). Lo que ocasionó estragos desde la engorda y matanza de los animales hasta el procesamiento y la distribución de los productos cárnicos (Pudenz and Schulz, 2024).

Este fenómeno representó mayores consecuencias económicas para la industria porcícola (Lusk *et al.*, 2021), donde los productores no tenían acceso a las plantas para la matanza de los animales (Hayes *et al.*, 2021) ni espacio para mantenerlos en espera, lo que derivó en la eutanasia de los cerdos (Hayes *et al.*, 2023). Esto no sucedió con el ganado bovino gracias al acceso de mayores áreas para el mantenimiento del ganado (Martinez *et al.*, 2021) y la modificación en las dietas para el balance del peso óptimo hasta la recuperación de los precios ideales previos a la pandemia (Vaiknoras *et al.*, 2022). En otros casos, hubo productores que mandaron animales de menor peso a sacrificio previo al cierre normativo de las plantas (Bina *et al.*, 2022) esto permitió que las pérdidas monetarias fueran menos extensas una vez comenzado el confinamiento (Peel, 2021).

En cuanto a los movimientos mercantiles, Brasil ocupa el 1er lugar como exportador de carne a nivel mundial con 8,662 miles de t (Hansen & Syse, 2021), seguido de EUA, UE y Canadá con 7,797 miles de t, 6,605 miles de t y 2,120 miles de t respectivamente (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023a) (Figura 3). En cuanto a importaciones China ocupa el 1er lugar con 6,145 miles de t, seguido de Japón con 3,415 miles de t y México con 2,355 miles de t (Red Nacional de Protección de Alimentos, 2023).

Figura 3. Principales países importadores y exportadores de carne, año 2022



Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

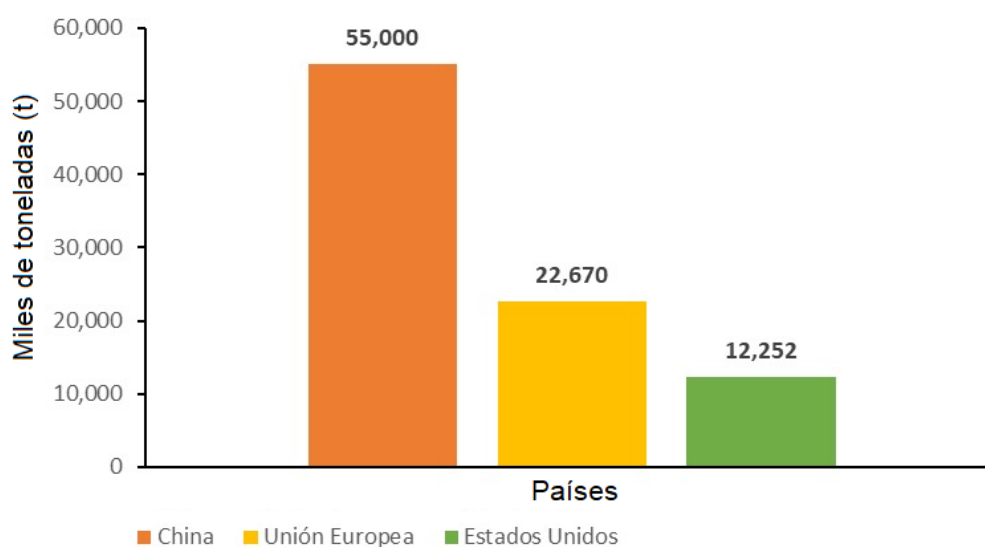
Durante el año 2022 se exportaron 36 millones 626 mil t de carne a nivel mundial (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023a). De cada 100 t exportadas 37 t correspondieron a carne de pollo (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023b), 33 t a carne de res (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023c) y 30 t a carne de cerdo (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023d). Para el mismo año se importaron 31 millones 103 mil t de carne a nivel mundial (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023a). De cada 100 t importadas 36 t correspondieron a carne de pollo (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023b), 33 t a carne de res (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023c) y 31 t a carne de cerdo (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023d).

A la fecha los servicios de alimentación y el turismo continúan recuperándose de la contingencia por COVID-19, y no se ha logrado alcanzar los niveles prepandémicos (Ijaz *et al.*, 2021). Sin embargo, el Reino Unido y la UE han aumentado la compra de carne por la disminución de la producción nacional y la elevada demanda (Chatellier, 2021). Sin embargo, el aumento de precio en los insumos ganaderos ocasionado por los conflictos bélicos entre Ucrania y Rusia vuelven a impactar la producción e imposibilitan la exportación (Jagtap *et al.*, 2022). Debido a que Rusia es el 1er exportador de trigo y Ucrania el 5to (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024). Además, Rusia posee el 5to lugar en exportación de maíz, el 2do en exportación de cebada y el principal exportador de semillas de girasol (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024).

Mercado internacional y nacional de la carne de cerdo

Durante el año 2022, la producción de carne de cerdo a nivel mundial alcanzó las 113,775 miles de t (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023a), con un consumo de 112,538 miles de t, y una comercialización internacional que se cuantificó en 10,906 miles de t (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022). El 60% de la carne de cerdo producida en el mundo (Figura 4), se generó en tres países: i) China con 55,000 miles de t, ii) UE con 22,670 miles de t, y iii) EUA, con 12,252 miles de t. México ocupa la posición número ocho con 1,530 miles de t (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023c).

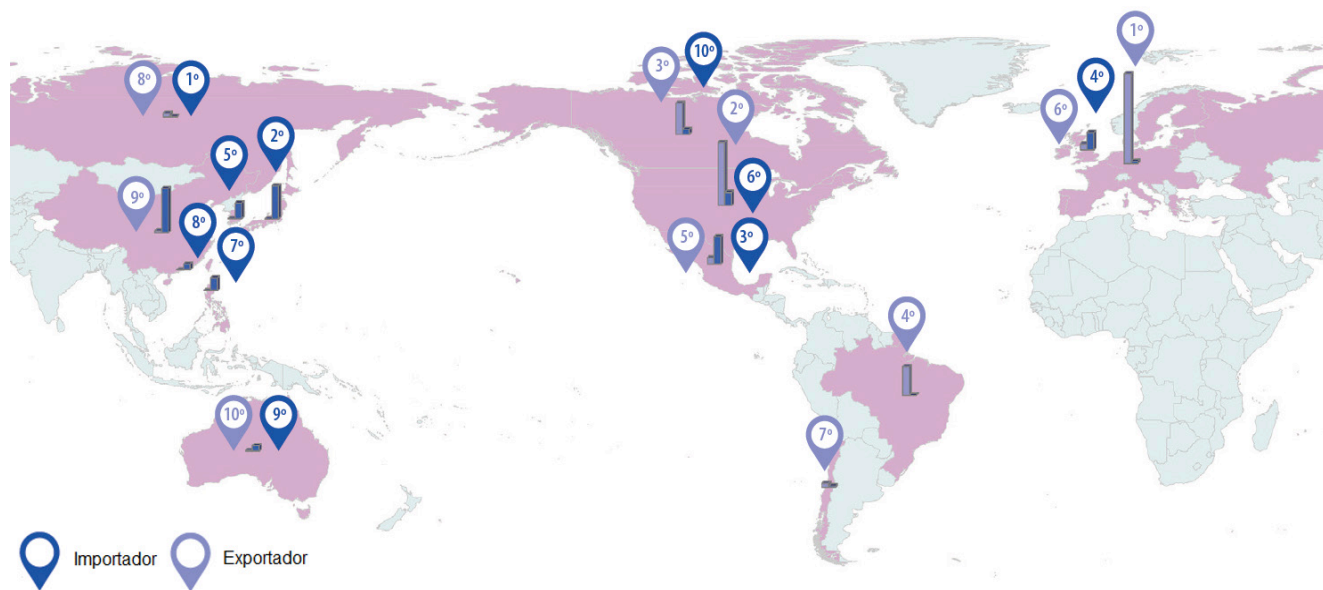
Figura 4. Principales países productores de carne de cerdo, año 2022



Fuente: (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022).

En el balance internacional, la UE ocupa el 1er lugar como exportador de carne de cerdo con 4,150 miles de t, seguido de EUA, Canadá, Brasil y México con 2,873 miles de t, 1,430 miles de t, 1,319 miles de t y 300 miles de t respectivamente (Figura 5) (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023c). En cuanto a importaciones de carne de cerdo, China ocupa el 1er lugar con 2,050 miles de t, seguido de Japón con 1,525 miles de t, México con 1,275 miles de t y Reino Unido con 790 miles de t (National Service of Health Safety and Food Quality, 2023).

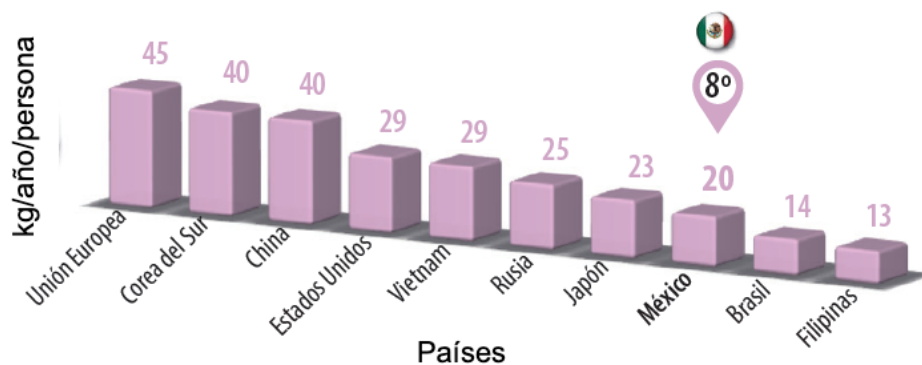
Figura 5. Principales países importadores y exportadores de carne de cerdo, año 2022



Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

En el balance nacional, la producción de carne de cerdo entre los años 2017-2022 aumentó 4.7% en promedio/año (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023d). Actualmente la demanda de carne de cerdo en México es condicionada por dos aspectos: i) la capacidad interna está por debajo del ritmo de consumo, y ii) la predilección productiva orientada a la exportación (National Service of Health Safety and Food Quality, 2023). En México, la producción presenta un crecimiento anual estable, donde el consumo alcanzó los 20 kg/año/persona (Figura 6) (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Figura 6. Consumo de carne de cerdo de los principales países, año 2022



Fuente: (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Las importaciones de carne de cerdo que México realizó durante el año 2022 fueron principalmente de EUA, Canadá, España y Chile y las exportaciones fueron principalmente hacia Japón, EUA, China y Corea del Sur (Figura 7) (National Service of Health Safety and Food Quality, 2023).

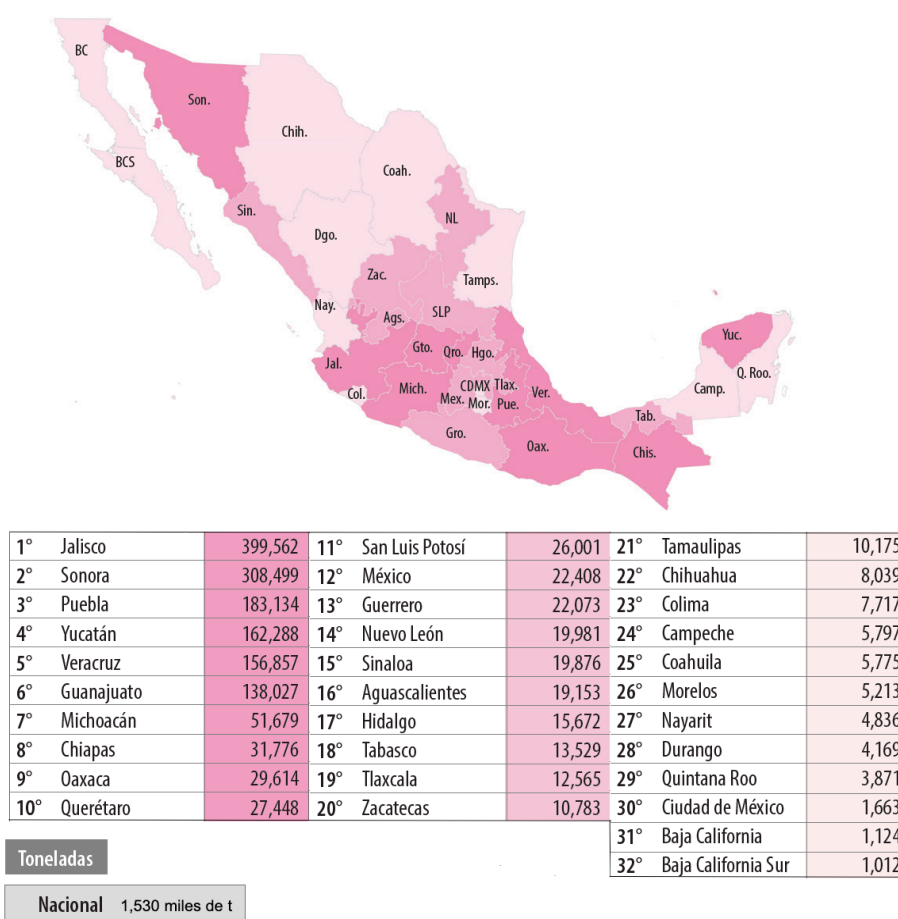
Figura 7. Flujo comercial de carne de cerdo en México, año 2022



Elaboración propia.

El inventario porcino nacional asciende a 20,972 miles de porcinos para el año 2022 (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a). Los precios mínimo, promedio y máximo para cerdo en canal en México durante el año 2022, fueron de \$48.5, \$56.7 y \$68.5 respectivamente (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023d). Durante el año 2022, México produjo 1,530 miles de t de carne de cerdo, con un consumo de 2,505 miles de t (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023a). En promedio un mexicano consume 1.90 kg de carne de cerdo/mes (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023c). Esta producción se concentra en diez de las 32 entidades federativas mexicanas, donde se obtuvo el 86% del volumen total nacional. El 1er estado productor es Jalisco (399,562 t), seguido por Sonora (308,499 t) y Puebla (183,134 t) (Figura 8).

Figura 8. Principales estados productores de carne de cerdo, año 2022

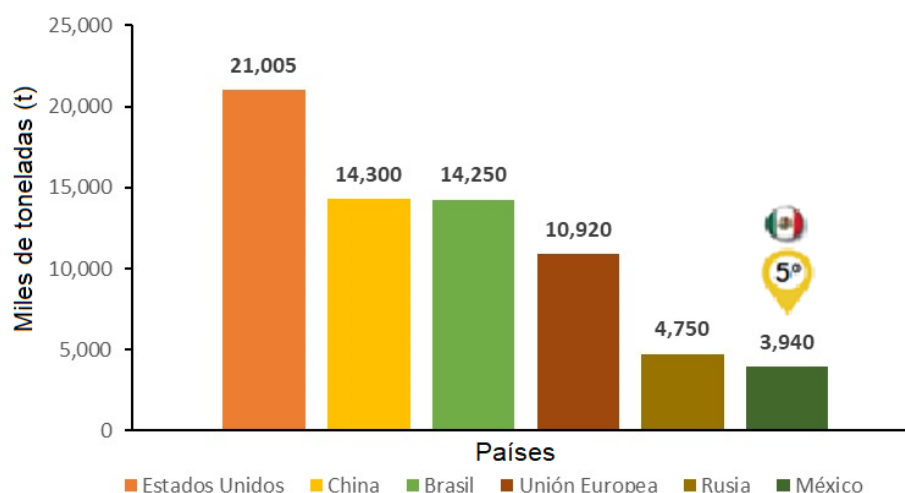


Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

Mercado internacional y nacional de carne de pollo

Durante el año 2022, la producción de carne de pollo alcanzó 101,086 miles de t a nivel mundial (Attia *et al.*, 2022), con un consumo de 98,648 miles de t, y una comercialización internacional que se cuantificó en 13,554 miles de t (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022). El 60% del pollo producido en el mundo (Figura 9), se generó en seis países: i) EUA, con 21,005 miles de t, ii) China con 14,300 miles de t, iii) Brasil con 14,250 miles de t, iv) UE con 10,920 miles de t, v) Rusia con 4,750 miles de t, y México con 3,940 miles de t (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).

Figura 9. Principales países productores de carne de pollo, año 2022

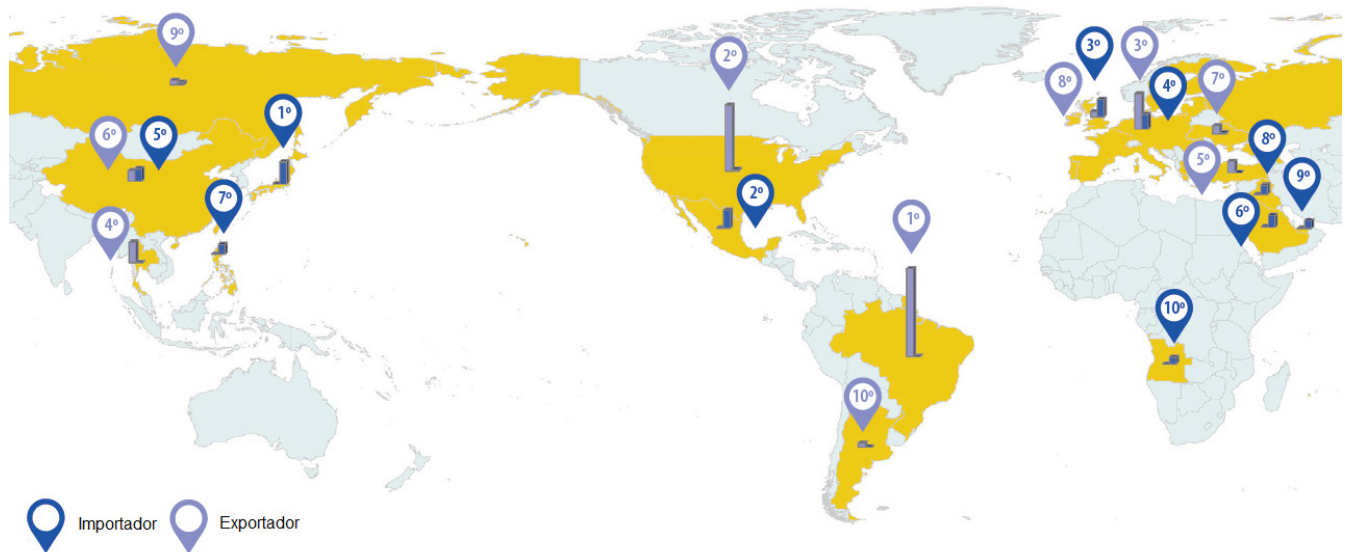


Fuente: (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022).

En el balance internacional, Brasil ocupa el 1er lugar como exportador de carne de pollo con 4,445 miles de t, seguido de EUA, UE y Tailandia con 3,317 miles de t, 1,780 miles de t y 1,035 miles de t respectivamente (Red Nacional de Protección de Alimentos, 2023) (Figura 10). En cuanto a importaciones de carne de pollo, Japón ocupa el 1er lugar con 1,105 miles de t, seguido de México con 915 miles de t y Reino Unido con 900 miles de t.

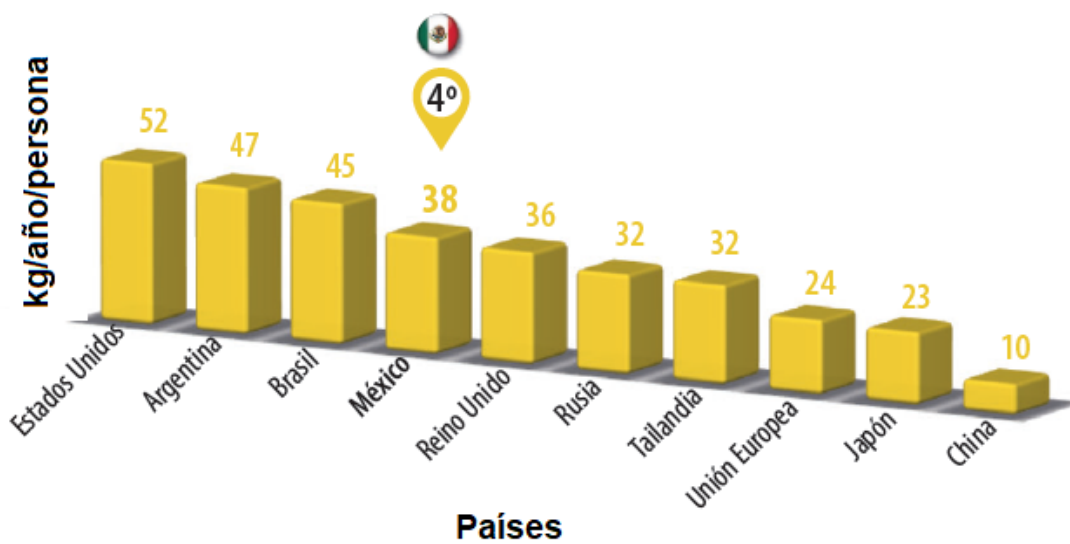
En el balance nacional, la producción de carne de pollo presenta un crecimiento anual estable gracias a que la demanda por este tipo de proteína representa casi el 50% de la producción cárnica nacional (United States Department of Agriculture, 2023), donde el consumo alcanzó los 38 kg/año/persona (Figura 11) (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Figura 10. Principales países importadores y exportadores de carne de pollo, año 2022



Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

Figura 11. Consumo de carne de pollo de los principales países, año 2022



Fuente: (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Las importaciones de carne de pollo que México realizó durante el año 2022 fueron principalmente de EUA, Brasil, Chile y Canadá (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023) y las exportaciones fueron principalmente hacia Gabón, Benín, Cuba y EUA (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023) (Figura 12). El inventario avícola nacional asciende a 616 millones de aves para el año 2022 (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Los precios mínimo, promedio y máximo para pollo entero en México durante el año 2022, fueron de \$32.40, \$49.80, y \$59.40 respectivamente (National Union of Poultry Farmers, 2023).

Figura 12. Flujo comercial de carne de pollo en México, año 2022

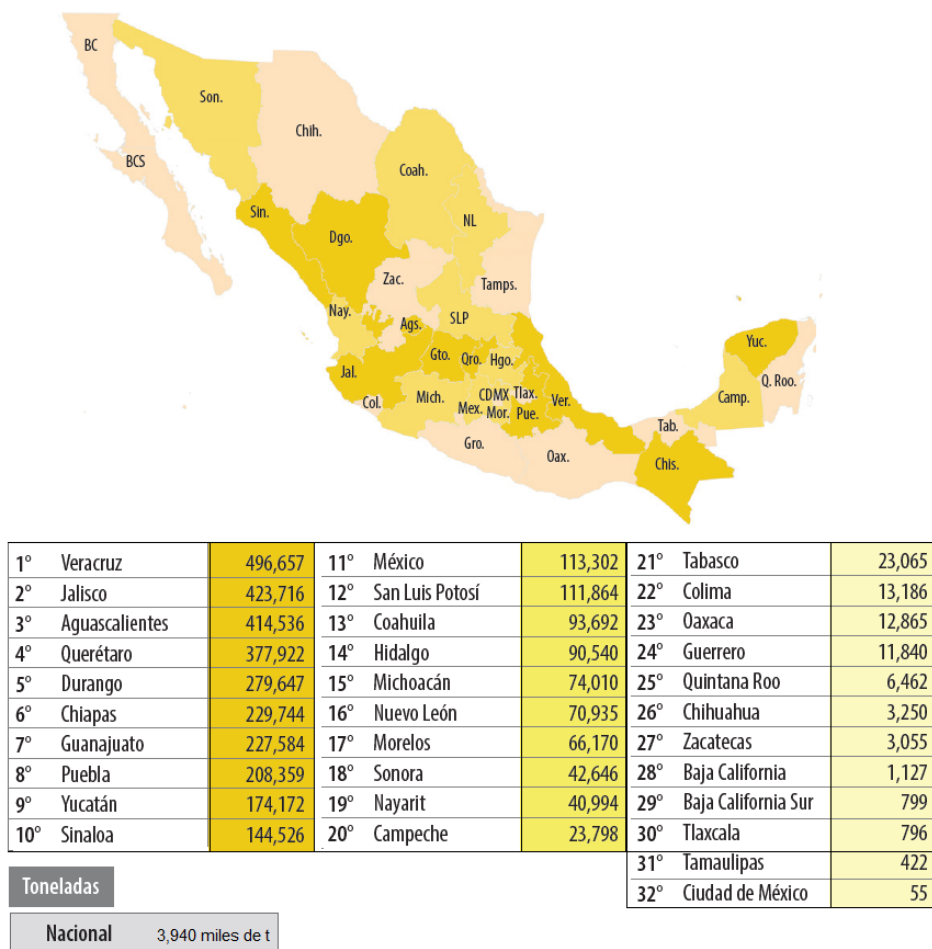


Fuente: elaboración propia.

La exportación de carne de pollo en México tiene como su destino mayoritario Gabón en África central y Benín en África Occidental. Sin embargo, esta situación no se sustenta en productos de calidad o en factores institucionales, sino que es resultado de sucesos volátiles relacionados con la situación sanitaria de la ganadería en el mundo, el comportamiento del tipo de cambio y con la imposición a los países competidores de barreras no arancelarias (National Union of Poultry Farmers, 2023).

Durante el año 2022, México produjo 3,940 miles de t de carne de pollo, con un consumo de 4,842 miles de t (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023). En promedio un mexicano consume 3.05 kg de carne de pollo/mes (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a). Esta producción se concentra en diez de las 32 entidades federativas mexicanas, donde se obtuvo el 78.7% del volumen total nacional (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021). El 1er estado productor de carne de pollo es Veracruz (496,657 t), seguido por Jalisco (423,716 t) y Aguascalientes (414,536 t) (Figura 13). En la 4ta posición se encuentra el estado de Querétaro (377,922 t), seguido por Durango (279,647 t) y Chiapas (229,744 t).

Figura 13. Principales estados productores de carne de pollo, año 2022



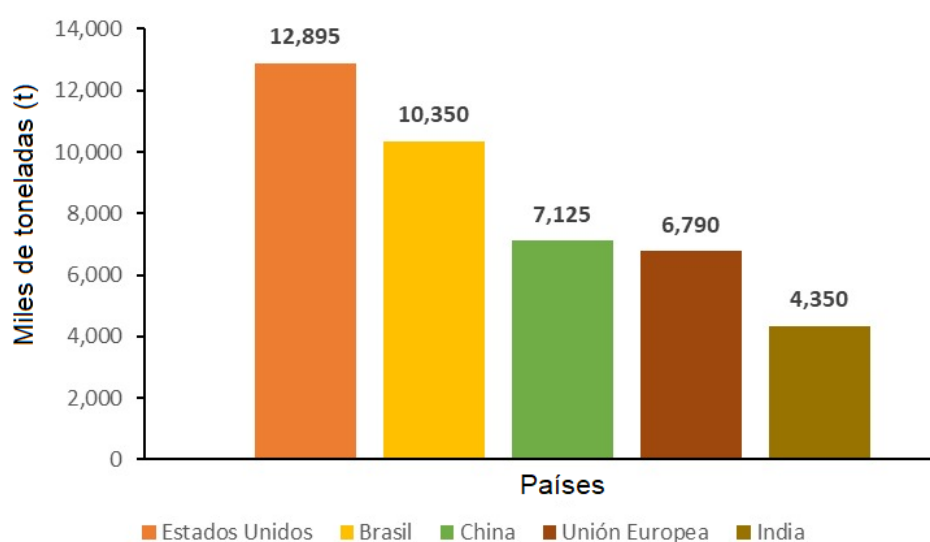
Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

Mercado internacional y nacional de carne de res

Durante el año 2022, la producción de carne de res a nivel mundial alcanzó 59,413 miles de t, con un consumo de 57,380 miles de t, y una comercialización internacional que se cuantificó en 12,166 miles de t (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023d). El 70% de la carne de res producida

en el mundo (Figura 14), se generó en cinco países: i) EUA, con 12,895 miles de t, ii) Brasil con 10,350 miles de t, iii) China con 7,125 miles de t, iv) UE con 6,790 miles de t, y v) India con 4,350 miles de t (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023c). México ocupa la posición número siete con 2,180 miles de t (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

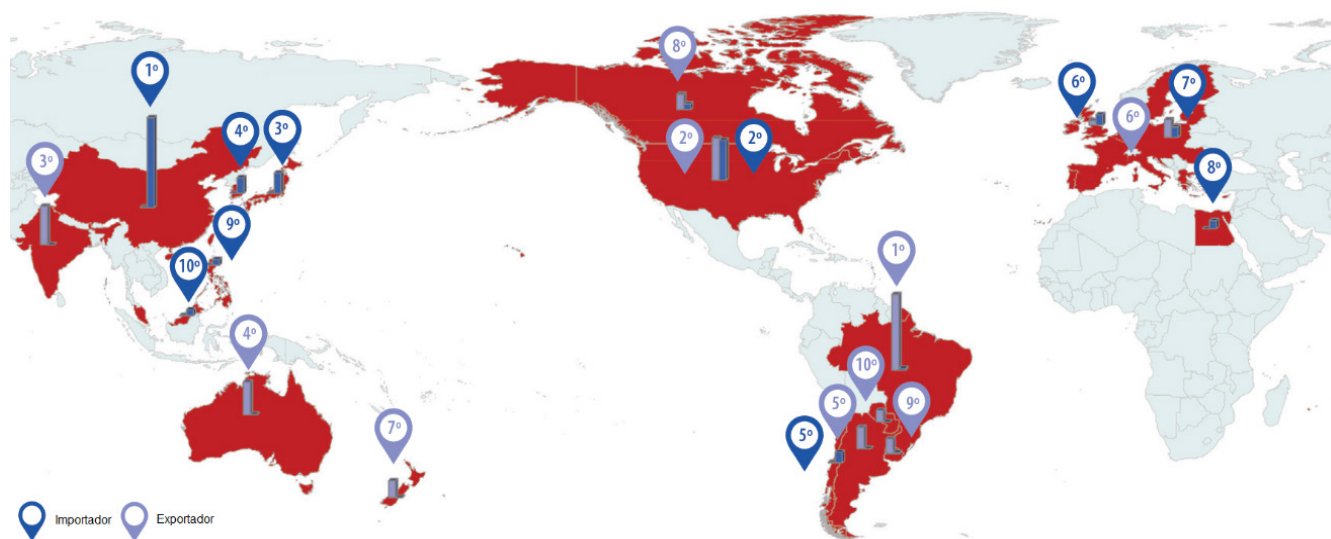
Figura 14. Principales países productores de carne de res, año 2022



Fuente: (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022).

En el balance internacional, Brasil ocupa el 1er lugar como exportador de carne de res con 2,898 miles de t, seguido de EUA, India y Australia con 1,607 miles de t, 1,475 miles de t y 1,260 miles de t respectivamente (Figura 15) (Agricultural and Fisheries Information Service, 2023c).

Figura 15. Principales países importadores y exportadores de carne de res, año 2022



Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

En cuanto a importaciones de carne de res, China ocupa el 1.er lugar con 3,450 miles de t, seguido de EUA, con 1,532 miles de t y Japón con 785 miles de t (Consejo Nacional de la Carne, 2023). México no figura entre los primeros diez exportadores/importadores en el mundo. Sin embargo, en el año 2022 el comercio transfronterizo de carne de res sobrepasó 511 mil t, un 4.7% mayor al de año 2021 (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a). En el balance nacional, la producción de carne de res entre los años 2017-2022 aumentó 2.5% en promedio/año (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023d). Este comportamiento es resultado de dos tendencias: i) el nivel y el incremento anual de las exportaciones, y ii) la declinación de las importaciones (Consejo Nacional de la Carne, 2023). En México, la producción presenta un crecimiento anual estable, donde el consumo alcanzó los 15 kg/año/persona (Figura 16) (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Figura 16. Consumo de carne de res de los principales países, año 2022



Fuente: (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a).

Las importaciones de carne de res que México realizó durante el año 2022 fueron principalmente de EUA, Nicaragua, Canadá y Chile y las exportaciones fueron principalmente hacia EUA, Japón, Canadá, y Corea del Sur (Figura 17) (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

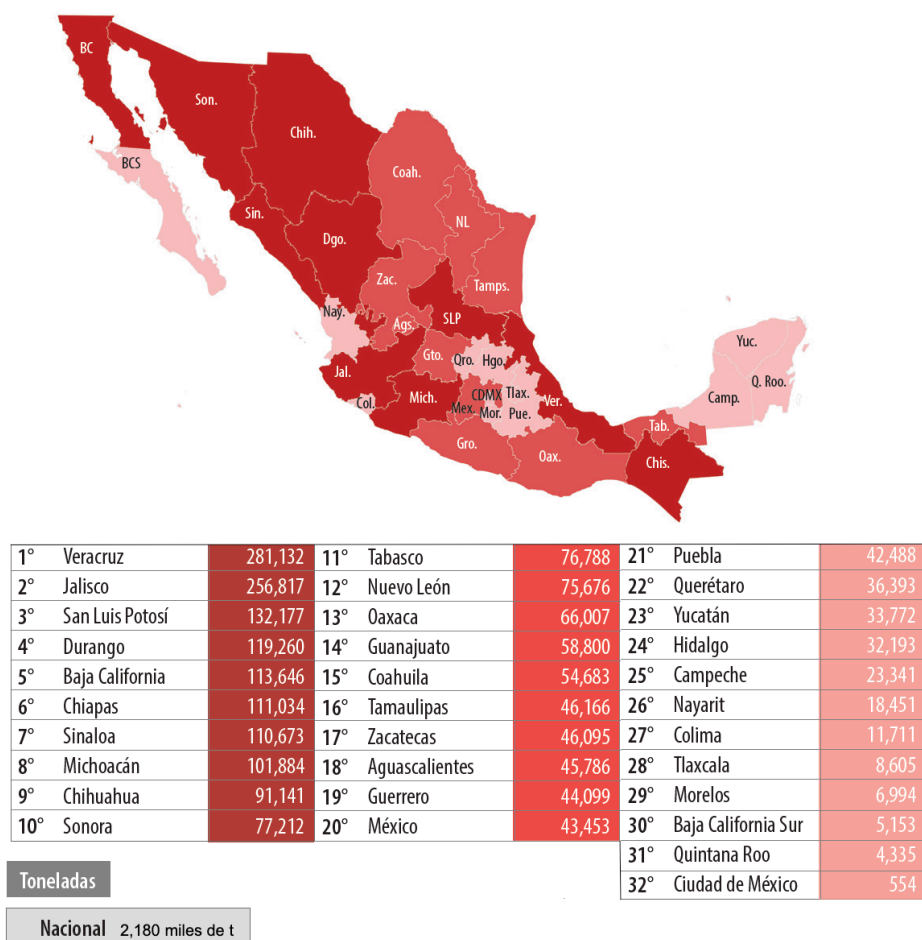
Figura 17. Flujo comercial de carne de res en México, año 2022



Fuente: elaboración propia.

El inventario bovino nacional asciende a 36,478 miles de bovinos para el año 2022 (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023a). Los precios mínimo, promedio y máximo para ganado en pie en México durante el año 2022, fueron de \$55.2, \$59.8, y \$62.6 respectivamente. Durante el año 2022, México produjo 2,180 miles de t de carne de res, con un consumo de 1,945 miles de t (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023d). En promedio un mexicano consume 1.31 kg de carne de res/mes (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023d). Esta producción se concentra en diez de las 32 entidades federativas mexicanas, donde se obtuvo el 64.1% del volumen total nacional (Secretariat of Agriculture and Rural Development, 2023b). El 1.er estado productor es Veracruz (281,132 t), seguido por Jalisco (256,817 t) y San Luis Potosí (132,177 t) (Figura 18).

Figura 18. Principales estados productores de carne de res, año 2022



Fuente: (Consejo Nacional de la Carne, 2023).

CONCLUSIÓN

En un mundo cada vez más interconectado, el conocimiento del mercado y el flujo comercial cárnico es vital para abordar los desafíos económicos, alimenticios y sociales del siglo XXI. Para competir eficazmente en los mercados internacionales, las empresas cárnicas nacionales deben comprender las necesidades de estos mercados y ser conscientes de las condiciones de producción actuales para proporcionar bienes y servicios de alta calidad. Además, comprender el flujo comercial (exportaciones-importaciones), influye positivamente en la cooperación internacional entre empresas, impulsa el crecimiento económico y la generación de empleo. En la actualidad no es necesario abordar la cuestión de si se debe o no ocuparse del mercado internacional, sino de cómo realizarlo para que la industria cárnica mexicana pueda beneficiar lo máximo posible del comercio exterior.

BIBLIOGRAFÍA

- Aday, S., and Aday, M. S. (2020). "Impact of COVID-19 on the food supply chain", *Food Quality and Safety*, 4(4): 167-180.
- Agricultural and Fisheries Information Service. (2023a). Actions and programs. Concentrated summary of production. Available in: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Agricultural and Fisheries Information Service. (2023b). Monthly report of scenarios of 18 agri-food products 2023. *Bird meat*. Available in: <https://www.gob.mx/siap/documentos/reporte-mensual-de-escenarios-de-18-productos-agroalimentarios-2023>
- Agricultural and Fisheries Information Service. (2023c). Monthly report of scenarios of 18 agri-food products 2023. *Bovine meat*. Available in: <https://www.gob.mx/siap/documentos/reporte-mensual-de-escenarios-de-18-productos-agroalimentarios-2023>
- Agricultural and Fisheries Information Service. (2023d). Monthly report of scenarios of 18 agri-food products 2023. *Pig meat*. Available in: <https://www.gob.mx/siap/documentos/reporte-mensual-de-escenarios-de-18-productos-agroalimentarios-2023>
- Attia, Y. A. et al. (2022). "Poultry production and sustainability in developing countries under the COVID-19 crisis: lessons learned", *Animals (Basel)*, 12(5): 10-15.
- Bina, J. D., et al. (2022). "Regional and plant-size impacts of COVID-19 on beef processing", *Food Policy*, 108(1): 102247.
- Chatellier, V. (2021). "Review: International trade in animal products and the place of the European Union: main trends over the last 20 years", *Animal*, 15 (Suppl 1): 100289.
- Consejo Nacional de la Carne. (2022). Compendio estadístico 2022. Disponible en: <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2022/>

- Consejo Nacional de la Carne. (2023). Compendio estadístico 2023. Disponible en: <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2023/>
- Ercin, E., Veldkamp, T. I. E., and Hunink, J. (2021). “Cross-border climate vulnerabilities of the European Union to drought”, *Nature Communications*, 12(1): 3322.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Meat market review. Emerging trends and outlook. Available in: <https://www.fao.org/3/cc3164en/cc3164en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Poultry production and products. Available in: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/poultry-species/chickens/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Crops and livestock products. Available in: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Greenwood, P. L. (2021). “Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase”, *Animal*, 15(Suppl 1): 100295.
- Hansen, A., and Syse, K. L. (2021). Changing meat cultures: food practices, global capitalism, and the consumption of animals. Available in: <https://books.google.com.mx/books?id=M3ZPEAAQBAJ>
- Hayes, D., et al. (2023). “Resilience of U.S. Cattle and Beef Sectors: Lessons from COVID-19”, *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 21(1): 53-67.
- Ijaz, M. et al. (2021). “Meat production and supply chain under COVID-19 scenario: current trends and future prospects”, *Frontiers in Veterinary Science*, 8(1): 660736.
- International Labour Organization. (2020). COVID-19: Stimulating the Economy and Labour Demand. Available in: https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_740893/lang
- International Poultry Council. (2020). Coronavirus could disrupt poultry production. Available in: <https://www.poultryworld.net/poultry/coronavirus-could-disrupt-poultry-production/>
- Jagtap, S. et al. (2022). “The Russia-Ukraine conflict: its implications for the global food supply chains”, *Foods*, 11(14):23-29.
- Lusk, J. L., et al. (2021). “Beef and pork marketing margins and price spreads during COVID-19”, *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(1): 4-23.
- Marchant-Forde, J. N., and Boyle, L. A. (2020). “COVID-19 Effects on livestock production: a one welfare issue”, *Frontiers in Veterinary Science*, 7(1): 585787.
- Martinez, C. C., et al. (2021). “Beef cattle markets and COVID-19”. 43(1): 304-314.
- National Service of Health Safety and Food Quality. (2023). Mexico, among the main producers and consumers of pork in Latin America and the world. Mercados y estadísticas. Available in: <https://www.gob.mx/senasica/prensa/mexico-entre-los-principales-productores-y-consumidores-de-carne-de-cerdo-en-america-latina-y-el-mundo>
- National Union of Poultry Farmers. (2023). Situation of Mexican poultry farming. Production/chicken consumption. Available in: <https://una.org.mx/industry/?lang=en>

- Organization for Economic Cooperation and Development, & Food Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Meat consumption. Available in: <https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm>
- Peel, D. (2021). “Beef supply chains and the impact of the COVID-19 pandemic in the United States”, *Animal Frontiers*, 11(1): 33-38.
- Pudenz, C. C., and Schulz, L. L. (2024). “Multi-plant coordination in the U.S. beef packing industry”, *Animal Frontiers*, 106(1): 382-415.
- Red Nacional de Protección de Alimentos. (2023). Ficha técnica N° 9. Disponible en: <http://www.anmat.gov.ar/alimentos/salmonelosis.pdf>
- Saitone, T. L., *et al.* (2021). “COVID-19 morbidity and mortality in U.S. meatpacking counties”, *Food Policy*, 101(1): 102072.
- Saitone, T. L., *et al.* (2022). “Leveraging meatpacking ownership concentration and community centrality to improve disease resiliency”, *Research*, 6(1): 1-6.
- Secretariat of Agriculture and Rural Development. (2023a). Mexican livestock sector. Agrifood Panorama. SADER. Markets and statistics. Available in: <https://drive.google.com/file/d/1jVWS4E FKK7HGwQOBpGeljUyaDT8X8Iyz/view>
- Secretariat of Agriculture and Rural Development. (2023b). Monthly product scenario agrifood. Mexican livestock sector. SADER. Markets and statistics. Available in: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/807478/Carne_de_bovino_Enero.pdf
- Secretariat of Agriculture and Rural Development. (2023c). Monthly scenario of agri-food products. Pig. Markets and statistics. Available in: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/807479/Carne_de_porcino_Enero.pdf
- Secretariat of Agriculture and Rural Development. (2023d). Statistical Yearbook of Cattle Production (Bovine). Markets and statistics. Available in: http://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Taylor, C. A., *et al.* (2020). “Livestock plants and COVID-19 transmission”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(50): 31706-31715.
- United States Department of Agriculture. (2023). Mexico: poultry and products semi-annual. Available in: <https://www.fas.usda.gov/data/mexico-poultry-and-products-semi-annual-6>
- United States Department of Agriculture. (2024). Livestock and poultry: world markets and trade. Available in: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf
- Wang, H. H. (2022). “The perspective of meat and meat-alternative consumption in China”, *Meat Science*, 194(1): 108982.
- Woonwong, Y., Do Tien, D., and Thanawongnuwech, R. (2020). “The future of the pig industry after the introduction of african swine fever into Asia”, *Animal Frontiers*, 10(4): 30-37.

Características y perspectivas del sistema productivo de lácteos en México: un análisis coyuntural

Adolfo Guadalupe Álvarez Macías,¹ José Alfredo Cesín Vargas,² Víctor Manuel Santos Chávez^{1*} y Robert Williams Cárcamo Mallen³

Resumen. Considerando las drásticas condicionantes que derivaron de la crisis económica internacional reciente y las estrategias desplegadas por los actores públicos y privados que integran el sistema productivo de lácteos (SPL) en México, se propone el siguiente análisis coyuntural, para captar algunas de las principales lecciones y explorar posibles vías de evolución. Para ello, se realizó una amplia recopilación y análisis de fuentes bibliográficas y estadísticas, privilegiando las más recientes, para sustentar este estudio.

Se revisaron las dinámicas de la producción primaria, de la industria de lácteos, del consumo en México y de la relación que se ha establecido con el mercado internacional, dada la relevancia de la importación de productos lácteos. Se concluyó sobre la estructura socioeconómica y tecnológica polarizada en todos los segmentos del SPL y los insuficientes mecanismos de coordinación entre ellos, que han impedido alcanzar un nivel de eficiencia suficiente que permita depender menos de las importaciones y se oriente a un desarrollo sustentable, competitivo y con equidad.

Palabras claves: Sistema productivo de lácteos, México, Crisis, Polarización socioeconómica.

Abstract. Considering the drastic conditions stemming from the recent international economic crisis and the strategies deployed by public and private actors within Mexico's dairy production system (DPS), the following situational analysis is proposed to capture some of the main lessons and explore possible avenues

¹ Profesor investigador del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx

² Investigador en la Unidad Académica de Estudios Regionales de la Coordinación de Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México.

* Autor de correspondencia. e-mail: vsantos@correo.xoc.uam.mx

³ Investigador de la Humboldt Universität zu Berlin.

of evolution. To this end, an extensive compilation and analysis of bibliographic and statistical sources were conducted, prioritizing the most recent ones to support this study. Given the relevance of dairy product imports, the dynamics of primary production, the dairy industry, consumption in Mexico, and the relationship established with the international market were reviewed. It was concluded that there is a polarized socio-economic and technological structure across all segments of the DPS, along with insufficient coordination mechanisms among them. These factors have hindered the achievement of a sufficient level of efficiency that would allow for reduced dependence on imports and a shift toward sustainable, competitive, and equitable development.

Keywords: *Dairy production system, Mexico, Crisis, Socio-economic polarization.*

INTRODUCCIÓN

El sistema de productos lácteos figura como uno de los principales del conglomerado agroalimentario mexicano y el tercero en importancia dentro del subsector pecuario, después del de carne de vacunos y el avícola. Destaca por su valor económico, por sus dimensiones sociales y culturales y, en especial, por suministrar un alimento básico para la población, en especial de los infantes, por lo que la leche y sus derivados juegan un papel estelar en la seguridad alimentaria del país.

En los últimos años el SPL en México ha padecido efectos de dinámicas globales, como el COVID-19, la invasión rusa a Ucrania -con el encarecimiento de insumos y productos agrícolas como fertilizantes y alimento animal- y el cambio climático. A la par, tiene las exigencias de aumentar su productividad y abasto nacional pues el país importa alrededor del 23% de la disponibilidad nacional de leche y derivados en 2023 (SIAP, 2023); también de reducir sus emisiones gases de efecto invernadero y mitigar el deterioro de recursos como los hídricos y de tierras y, en última instancia, de integrar internamente los eslabones de producción primaria, industria y consumo.

Se considera que el SPL se compone de diferentes eslabones que van desde la producción primaria (al que antecede la producción de insumos y equipo), como el de comercialización, procesamiento, distribución y hasta el de consumo de leche y derivados. Bajo esta lógica se asume que la eficiencia y, en su caso, la competencia internacional no se establece a nivel de la producción primaria de cada país, sino que se ejerce entre sistemas agroalimentarios, en este caso el de leche y lácteos.

En tiempos de un proceso avanzado de la globalización, esta concepción supone que el sistema agroalimentario de cada país no es cerrado, sino al contrario, que se integra, al menos parcialmente, con otros como pasa con el SPL de México, que depende de otros como el de EUA del cual se abastece de insumos para la producción primaria como maíz forrajero y semen, por ejemplo, o el conjunto de agroindustrias que obtienen leche en polvo del mismo país o Nueva Zelanda, por citar dos de los principales proveedores (Delgado, 2010).

Aunque no se pueden captar con detalle todos los segmentos del SPL en este trabajo, esta concepción preside el análisis, el cual se organiza partiendo de aspectos clave de la producción primaria, de la industria láctea, del consumo de leche y lácteos en México para después abordar la relación de dependencia de México respecto al mercado internacional, ya no necesariamente como un factor de contexto, sino con una influencia histórica y que incide de manera significativa en el desempeño de los actores nacionales del SPL. Se terminan con las consideraciones finales del estudio.

En ese contexto, el objetivo de este documento es presentar características claves del SPL de México en los últimos años para detectar sus principales fortalezas y debilidades a partir de las cuales identificar las áreas que requieren de atención especial para propiciar su desarrollo sustentable y priorizando la equidad como factor de competitividad.

Para proceder al análisis se realizó una amplia recopilación y sistematización de artículos científicos disponibles en las bases de datos: ScienceDirect, Scopus, el buscador Google académico, la biblioteca digital de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (BidiUAM) y fuentes estadísticas oficiales como el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía. La información seleccionada es de reciente publicación y preferentemente con factor de impacto.

Producción primaria polarizada y con baja sustentabilidad

En 2023 México ocupó el octavo lugar como productor de leche a nivel mundial, con un volumen estimado en 13,225 mil toneladas, figurando como la segunda potencia en América Latina, solo por debajo de Brasil, de acuerdo con USDA, 2023. Cuenta con un hato lechero de aproximadamente 2,7 millones de cabezas, el cual en el último decenio se ha incrementado a una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de poco más de 1%; considerando el ganado no especializado este inventario alcanza casi los 6.7 millones de vientres (SIAP, 2024). La producción de leche ha crecido a una TCMA de 1.44% en los últimos 10 años, lo que denota un leve incremento de la productividad por unidad animal. Sin embargo, ambas TCMA revelan un nivel de crecimiento moderado e insuficiente para satisfacer una demanda creciente, considerando el aumento de la población mexicana y del nivel de ingresos, al menos de una parte de ella.

La producción primaria nacional de leche presenta una alta concentración territorial, destacando dos ejes principales. Por un lado, la región de La Laguna, al norte de país que comprenden parte de los estados de Coahuila y Durango, que aportaron el 22.8% de la producción nacional en 2022 y, si les asocia el estado vecino de Chihuahua cubrieron el 32.2%. Otra zona relevante en el plano nacional se ubica en la región centro-occidente, que agrupa porciones de los estados de Jalisco, Guanajuato, Aguascalientes y Michoacán, contribuyendo en conjunto con un porcentaje mayor, del 34% del total nacional en 2022. Mientras que en la zona centro del país, con partes de los estados de Hidalgo, México, Puebla

y Querétaro sumaron el 13.1% del total nacional. Finalmente, dentro de la zona tropical sobresalieron Veracruz y Chiapas, con el 9.5%, siempre en 2022 (SIAP, 2024). Esto revela que la principal parte de la producción se realiza en zonas áridas y semiáridas, en teoría poco propicias para la producción lechera y que, por ende, implica un costo energético elevado y ganado en situación de estrés, lo que en parte explica las dificultades para incrementar los rendimientos unitarios.

Dentro de los rasgos de la evolución de la producción primaria resaltan, por un lado, la predominancia del modelo Holstein, que gira en torno a esa raza lechera y que se complementa con un sistema desarrollado tecnológicamente con alto nivel de insumos como alfalfa y granos forrajeros que se obtienen en tierras de alta calidad y con sistemas irrigados, además de otro tipo de tecnología, como la doble y triple ordeña, de forma mecánica, alto consumo de fármacos, inseminación artificial con semen sexado, trasplante de embriones, asistencia técnica especializada, sistema de enfriado de la leche e integrados a la industria. Ese sistema, en su formato más completo y avanzado (por ejemplo, establos climatizados o robotizados), predomina entre los ganaderos más capitalizados de La Laguna, Aguascalientes, Querétaro y otras zonas, integrados a grandes cooperativas como Lala y Alpura; en algunos casos este estrato de ganaderos comercializa su producto con industrias globales como Danone y Nestlé, entre otras. En estos sistemas especializados e intensivos se pueden rebasar rendimientos de 9,000 l/lactancia (Avilés *et al.*, 2024).

Este modelo ha permeado en estratos de ganaderos medios, pero de manera incompleta, pues se ha adaptado a las posibilidades de los ganaderos y del entorno regional en que se desarrollan. Por ello, la genética de los reproductores no es tan avanzada como en el sistema antes descrito y otros aspectos como el de alimentación se tiene que ajustar con gramíneas henificadas e, incluso, en períodos críticos con esquilmos agrícolas. En este sistema semintensivo, predominante en diferentes regiones del país, pero principalmente en el centro-occidente y centro del país, registra un rendimiento promedio de 6,200 l/lactancia (Avilés *et al.*, 2024) y se encuentra vinculado también con empresas globales y en algunas zonas se comercializa con Liconsa.

Se puede encontrar una versión similar a la anterior, pero con productores de menor ingreso y nivel tecnológico, que depende menos de insumos externos a las propias unidades productivas y, en particular, priorizan la mano de obra familiar. Se trata del sistema familiar, que generalmente no rebasa los 50 vientres y no se suelen beneficiar de asistencia técnica y dependen menos de alimentos concentrados. Por ello, sus rendimientos oscilan entre 2,500 y 4,000 l/lactancia (Camacho, *et al.*, 2017) y comercializan con Liconsa, queserías regionales y, en menor medida, con empresas globales y directamente con el consumidor.

El sistema de doble propósito (carne-leche) se ha practicado en la región tropical del país, obteniendo leche y carne (becerros destetados, a media engorda o animales finalizados), de manera simultánea, por lo cual han adoptado animales cruzados, genéticamente con razas europeas (Suiza y Holstein) y cebuinas, para generar resistencia al clima y a plagas, como la garrapata, y a enfermedades. Esta

producción de doble objetivo permite que los rendimientos de leche exclusivamente sean limitados, generalmente entre los 1,200 y 3,600 l/lactancia, aunque la lógica y rentabilidad del sistema se explica en su conjunto (Bautista *et al.*, 2019).

Considerando lo anterior, en México la producción de leche se desarrolla en condiciones tecnológicas, agroecológicas y socioeconómicas heterogéneas, sin embargo, al margen de las lógicas productivas que distinguen a los sistemas productivos antes descritos, lo que entraña es una extrema polarización socioeconómica, de forma tal que los ganaderos de los dos primeros grupos han adoptado total o parcialmente bajo el modelo Holstein. En el familiar y de doble propósito funcionan con bajo nivel de insumos e, incluso, el segundo, recurre con frecuencia al pastoreo, pero sus costos de producción y transacción son elevados por cada litro de leche comercializado y, por ello, no pueden ni mejorar su productividad ni su nivel de ingreso. En estos dos últimos sistemas existen reservas de productividad, pero se requieren de apoyos focalizados para favorecer su desarrollo.

Una fuerte limitante de los sistemas lecheros en México (prácticamente en casi todo el mundo) reside en el nivel de contaminación que provocan. Al respecto, se ha documentado que la ganadería bovina mexicana es responsable de la generación del 13.2 % de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de México y que en 2019 se liberaron 736.6 millones de toneladas de CO₂ equivalente que están asociadas con la degradación de los recursos naturales. Por una parte, la generación de emisiones de GEI es atribuida al bajo rendimiento de leche, prácticas de manejo y alimentación ineficientes, y una edad prolongada al primer parto (Villavicencio *et al.*, 2023), aunque el problema parece ser más de fondo ya que los modelos de producción primaria como el Holstein ocasionan efectos ambientales y perturbaciones de los ciclos hídricos, edáficos y atmosféricos ajenos a las actuales exigencias de sustentabilidad y de mitigación y adaptación al cambio climático (Mora *et al.*, 2019).

Esta proporción considerable de las emisiones totales de GEI pone en duda de qué manera los ajustes en la escala y la tecnología de la producción de lácteos podrían contribuir a reducir dichas emisiones (OCDE/FAO, 2023). A la par, se han generado nuevas iniciativas que han definido como una prioridad promover sistemas de producción primaria menos contaminantes y adoptar una ruta genuinamente sustentable⁴, en la cual sería conveniente se incorporarán los ganaderos mexicanos para tender no solo a sistemas climáticamente inteligentes sino a enfoques de equidad socioeconómica y tecnológica.

⁴ Es importante considerar la iniciativa de Pathways to Dairy Net Zero, que se lanzó en la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios de las Naciones Unidas, en septiembre de 2021, para acelerar la acción climática del sector lácteo. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) lo promueve en América Latina junto con otras organizaciones y empresas para priorizar sistemas productivos de leche bajos en carbono y resilientes al clima, al cual se han adscrito países como Costa Rica, Colombia y Uruguay. En FAO, 2023 <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/en/c/1636189/>.

Las industrias lácteas como (des)articuladoras del SPL de México

La leche es un producto altamente perecedero que para comercializarlo se requiere estabilizar mediante frío, pasteurización o secado, entre otras opciones, por lo que su industrialización es casi indispensable, excepto en canales comerciales muy cortos, en los cuales la leche se vende sin procesar. Esta condición, más la estacionalidad de la producción primaria y la dispersión de la oferta de leche, generalmente provoca que las agroindustrias desplieguen estrategias para asegurar su abasto con los ganaderos. Este proceso se puede acentuar cuando en un país, como México, existe escasez temporal, aunque la posibilidad de importar puede aliviar esta problemática como ha sido el caso con *commodities* como leche en polvo, grasa butírica u otro extensor, particularmente para las industrias que disponen de la logística para ello, como las empresas globales. Esta opción de importar lácteos se ha favorecido en el país durante los últimos meses dada la apreciación del peso mexicano respecto al dólar americano, pero en otros períodos ha pasado lo contrario, se encarecen las importaciones cuando la moneda nacional se deprecia y se trata de priorizar el abasto nacional.

En ese contexto, el segmento industrial mexicano también se distingue por su gran heterogeneidad de empresas, por su nivel tecnológico, por su capacidad logística y por el tipo de productos que ofrece. En ese sentido, en el eslabón de las industrias se contabilizan alrededor de 130 empresas formales que procesan el 86% de la producción nacional, con un personal ocupado de 42 mil personas y un valor mayor a 380 mil millones de pesos (Cecilia *et al.*, 2023). Sin embargo, se deben considerar un amplio número de pequeñas empresas familiares que suelen enfocarse a la fabricación de quesos artesanales, yogures, crema y dulces regionales, a menudo bajo un régimen informal y sin, necesariamente, apearse a la normatividad vigente, pero que representan una opción al momento que los ganaderos necesitan vender su producto y, desde otro punto de vista, responden a demandas regionales y locales.

De cualquier forma, se ha estimado que la industrialización de la leche genera un efecto multiplicador en la economía de 1.71; es decir, por cada peso que ingresa a los productores, se produce una derrama económica de 71 centavos en el resto de la cadena productiva (Cecilia *et al.*, 2023). Pero ello, dependiendo de la forma en que los ganaderos se vinculan con las industrias, pueden acceder a mejores precios y otros beneficios contractuales como el pago del transporte de la materia prima o la dotación de insumos. Esta interacción genera ventajas contrastantes para los ganaderos pues, por ejemplo, existen las empresas de tipo cooperativo que, al menos en sus inicios, fueron de ganaderos, los cuales buscaron asegurar su mercado y agregar valor a su producto básico, por lo que se integraron hacia adelante y han conformado industrias tan poderosas como Lala y Alpura. Con esa alternativa no solo han podido acceder a precios elevados, sino que también perciben utilidades como accionistas de la agroindustria. Pero esta posibilidad ha sido factible para un pequeño número de ganaderos el país.

Otros ganaderos capitalizados han incursionado en canales comerciales exigentes pero rentables, como pueden ser las que controlan empresas globales como Danone y Yoplait. La condición en este

caso es negociar con volúmenes elevados por productor, con temperatura controlada y con altos estándares de calidad, lo que les permite obtener un precio atractivo y mantener su elevado nivel tecnológico. Otras empresas como Nestlé de igual forma participan en este canal comercial, aunque también adquiere leche de pequeños y medianos productores, bajo condiciones contractuales estrictas.

En cuanto a los productores con bajos volúmenes de leche y que difícilmente cumplen requisitos de calidad en cuanto a temperatura, contenido de grasa y proteína en la leche o carga microbiana, se deben conformar con acceder a canales comerciales que ofrecen precios medios o bajos y que, además, les implican costos de transacción elevados. Eso último porque deben organizarse en un centro de acopio lechero para enfriar la leche, lo que puede implicar costos de mantenimiento de dicho centro más otros de transporte que resultan significativos. Los que no logran enfriar la leche ni quizá alcancen estándares de la leche industrial tienen que vender a las queserías regionales o a intermediarios comerciales, pero obteniendo precios por debajo de la media, que en 2022 y 2023 fue de 7.8 y \$8.4. de forma respectiva (SIAP, 2023a).

Una excepción a los casos anteriores se ha constituido en torno a Liconsa, empresa estatal, que en la actualidad está adscrita a SEGALMEX (Seguridad Alimentaria Mexicana), un organismo descentralizado, sectorizado a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. De forma sintética las actividades encomendadas a Liconsa son: adquisición de leche fresca de pequeños y medianos ganaderos, con prioridad a los que poseen hasta 100 vacas y sin adquirir más de 30 litros/vientre; la compra de otros insumos lácteos, principalmente leche en polvo, para el procesamiento, distribución y venta de leche, incluyendo, fundamentalmente, la destinada al Programa de Abasto Social de Leche, a través del cual se vende leche procesada a precios subsidiados a sectores de consumidores de bajos ingresos.

A través de Liconsa alrededor de 3,000 ganaderos recibieron un precio de garantía por litro de leche de alrededor de \$11.00 al inicio de 2024, aunque variaba en función de la calidad del producto y las condiciones de entrega. Para los ganaderos, sin duda, este es un canal comercial atractivo y Liconsa compra en 14 estados de la república a través de 57 centros de acopio, sin embargo, también es un canal restrictivo, pues no es fácil el ingreso de nuevos ganaderos al padrón de proveedores vigente (Liconsa, 2024).

Por otro lado, Liconsa también vende leche procesada a los consumidores a un precio subsidiado, que en 2024 ascendió a \$6.5/litro, que es un precio muy bajo respecto a las leches comerciales. Sin duda se cumple una labor relevante en este rubro, aunque el padrón de beneficiarios del Programa de Abasto Social de Leche se ha estancado, pues en 2013 se atendieron a 6.49 millones de beneficiarios y en 2024 se ha proyectado atender a 6.35 millones (Liconsa, 2024).

En cuanto a los productos que venden las diferentes industrias existen claras diferencias. Por un lado, está el canal de leche fluida (pasteurizada y ultrapasteurizada bajo varios formatos en cuanto a su contenido), que está dominado por pocas industrias como Lala y Alpura y, en menor medida, Sello Rojo y Santa Clara. Otros productos procesados como yogures, quesos y fórmulas infantiles lo do-

minan empresas globales como Nestlé y Danone, entre otras. Liconsa participa con el canal comercial institucional antes referido y después las queserías regionales que son múltiples en cuanto a tamaño, nivel de capitalización y variedad de productos. También se debe considerar que alrededor del 14% de la leche se comercializa sin un procesamiento de por medio (SIAP, 2023a).

Por otro lado, se destaca la carga regulatoria que deben cumplir las industrias, ya que en la actualidad prácticamente todos los productos derivados de la leche (a excepción de la mantequilla) cuentan con una Norma Oficial Mexicana que establece los requisitos para que un alimento pueda ostentar sus respectivos nombres. Sin embargo, se tenía planeado en 2023 actualizar esas normas en cuanto a yogur, leche y quesos para que resulte más fácil a los consumidores distinguir el origen de las materias primas, con el beneplácito de los ganaderos. En cambio, los industriales han sido menos favorables a estos cambios y han argumentado que antes de pensar en actualizarlas, habría primero que planear en cómo mejorar sus niveles de observancia, lo cual también es un aspecto que requiere mejora sustancial (CANILEC, 2023).

En síntesis, las industrias que adquieren leche lo realizan en condiciones ventajosas respecto a los productores primarios, salvo el caso de Liconsa y alguna más que interaccionan con los ganaderos más capitalizados, por lo que no han favorecido un proceso de integración positiva que genere incentivos, tanto a la producción primaria como al consumo.

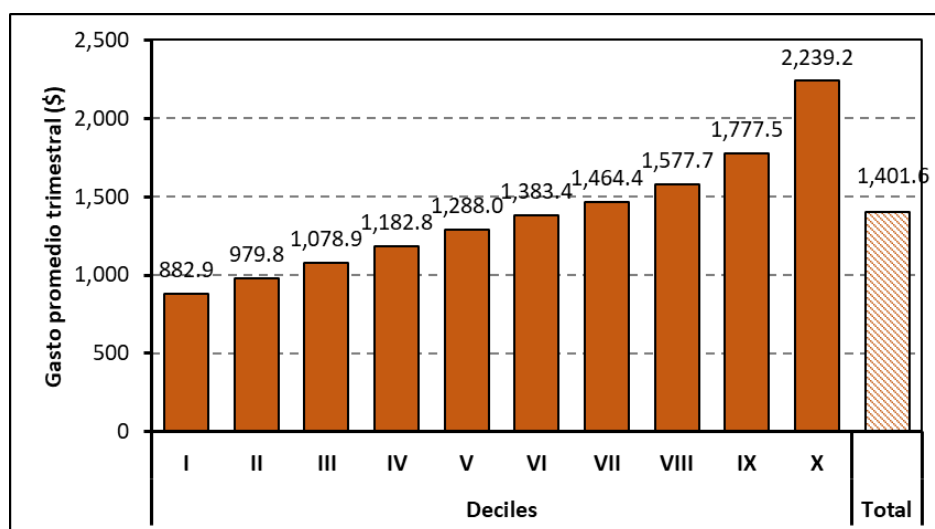
Consumo insuficiente y polarizado

Se ha estimado que en México el consumo promedio per cápita anual es de 131.4 l (SIAP, 2024^a), alejado de los 182 l recomendados por la FAO y muy por debajo de los 263 y 219 l que registran EUA y Nueva Zelanda, por ejemplo, (FAO, 2023). Se ha reconocido que además del consumo de leche fluida, los mexicanos muestran fuerte tendencia al consumo de queso fresco, del cual existe una amplia variedad obtenidos bajo procesos tradicionales, pero también los importados han cobrado relevancia progresivamente. De igual forma, México destaca como el quinto lugar mundial en consumo mundial de mantequilla, a pesar de que en la producción de este derivado el país ocupa el puesto 43; se estima que en 2024 se necesitará importar alrededor del 27% del queso y el 5% de su mantequilla de consumo nacional. Por su parte, la leche descremada en polvo en México es muy utilizada por los sectores hotelero, restaurantero e institucional (Liconsa), y la leche descremada en polvo es también el principal producto lácteo exportado por EUA en su zona fronteriza del sur (USDA, 2023).

Pero el tema de consumo de productos lácteos también es complicado en México, pues también está polarizado, lo que se constata por el acceso que registran los distintos estratos socioeconómicos. Como se ilustra en la Figura 1, de los 28, 634, 404 hogares registrados en México en 2022, el primer decil desembolsó en promedio \$882.9 en productos lácteos por trimestre y va aumentando paulatinamente

hasta llegar a los \$2,239.2 en el último decil, con un promedio de poco más de \$1,400.00 a escala nacional. Conforme a los patrones de consumo, se puede inferir que en el primer caso se consumen formulas lácteas y quesos genéricos, que no garantizan ni la máxima calidad ni el mejor contenido, aunque la leche que eventualmente adquieren vía Liconsa puede amortiguar esta situación. Por su parte, en los deciles de mayores ingresos las leches enriquecidas, los yogures y los quesos finos son parte de la dieta que, incluso, una parte de ellos son de importación. Aunque se reconoce que esta última tendencia no es lineal, pues además del poder de compra también influyen cuestiones culturales y el comportamiento de los mercados regionales. Además, en ciertos grupos de consumidores, la mayoría jóvenes y con poder adquisitivo, está cambiando el consumo de lácteos por formulas basados en proteína vegetal, como de almendra, arroz, coco y avena, por citar algunos ejemplos.

Figura 1. Gasto trimestral promedio en leche y sus derivados por decil de los hogares, 2022



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2022. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares.

Bajo este esquema la contribución del SPL, en México, a la seguridad y soberanía alimentaria está en entredicho, pues quedan amplios márgenes de mejora en el rubro de leche y derivados, siempre valorando el esfuerzo de Liconsa, aunque su impacto finalmente es limitado. Además, se debe considerar el peso de los productos lácteos importados para abastecer el mercado nacional, como se analiza a continuación.

Dependencia de las importaciones de producto lácteos

Solo alrededor de 7% de la producción mundial de leche se comercializa a nivel internacional, limitada por su carácter perecedero y su alto contenido de agua (más de 85%). Más de 50% de la producción mundial de LEP y LDP se comercializa, dado que, en términos generales, dichos derivados se obtienen con el fin principal de poder almacenar leche durante periodos más prolongados y comercializar a mayores distancias, aunque la infraestructura de secado de leche se concentra en los países desarrollados. Los productos lácteos frescos se comercializan marginalmente en el medio internacional y se restringe a pequeños volúmenes de lácteos fermentados entre países vecinos (como México y EUA) (OCDE/FAO, 2023).

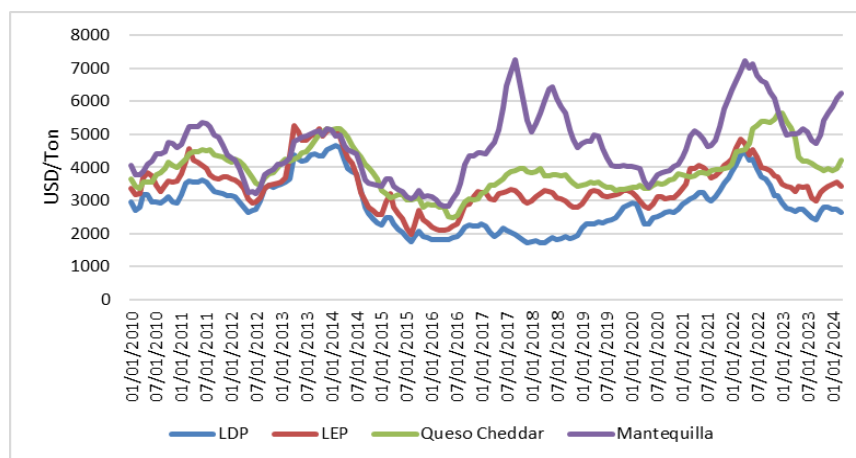
Se prevé que, durante los próximos 10 años, el comercio mundial de productos lácteos podría alcanzar alrededor de 14.2 Mt en 2032, 11% más que 2023. La mayor parte de dicho crecimiento se cubrirá con el incremento de las exportaciones provenientes de los Estados Unidos, la Unión Europea y Nueva Zelanda. Se pronostica que en 2032 este grupo de países cubrirán en conjunto cerca de 65% de las exportaciones de queso, 70% de las de LEP, 70% de las de mantequilla y 80% de las de LDP, es decir, todo apunta a que se mantenga e, incluso, se profundice la actual estructura del mercado mundial. De acuerdo con las previsiones disponibles en el año 2032, el consumo per cápita aumentará 0.8% anual para alcanzar 15.7 kg (equivalente de sólidos lácteos, excluido el contenido de agua de la leche o los productos lácteos). La mayor parte de la producción de lácteos en el mundo se consume en forma de productos lácteos frescos, no procesados o ligeramente procesados (pasteurizados o fermentados), aunque este comportamiento suele variar, pues en los países de ingresos bajos y medios, en efecto, los productos lácteos frescos representan más de dos tercios del consumo promedio per cápita de lácteos (sólidos lácteos), mientras que los consumidores de clases medias y, sobre todo, altas de países de ingresos medios y altos se inclinan a consumir productos procesados (OECD/FAO, 2023).

La fuerte volatilidad de los precios internacionales de los productos lácteos se deriva de su pequeña proporción en el comercio, el dominio de unos cuantos exportadores y la predominancia de políticas comerciales restrictivas. Por ello, en 2022, los precios internacionales de los lácteos alcanzaron su nivel máximo a mediados de 2022 y no fue sino hasta finales de 2022 cuando empezaron a bajar. Los principales impulsores de los precios fueron los costos de la energía y del forraje que muestran una pauta similar, pero con mayores fluctuaciones en comparación con los de los productos lácteos y la leche, como consecuencia del COVID 19, la invasión rusa a Ucrania y la sequía en varias de las zonas productoras de leche en el mundo, dados los evidentes efectos del cambio climático. A la par, en 2023 los precios en el comercio mundial de productos lácteos decrecieron debido a que la demanda de importación de China disminuyó de manera considerable, en especial en el caso de la LEP. Este decremento no se compensó con las alzas que registraron otros grandes importadores de productos lácteos como Arabia Saudita, Indonesia y México. En lo que respecta a los grandes exportadores, los Estados Unidos resultaría beneficiado de disponer inventarios para cubrir las exportaciones de estos últimos países (OCDE/FAO, 2023).

En efecto, en 2022 México compró productos lácteos por un valor de 2,442 millones de dólares, un aumento anual de 37% y representa más de una cuarta parte de todas las exportaciones estadounidenses de este sector. México se consolidó en 2022 como el primer destino de las exportaciones lácteas de Estados Unidos, con LDP y queso principalmente (USDA, 2023). El riesgo de esta dependencia radica en la volatilidad de los precios internacionales de los productos lácteos, ya que por ejemplo el precio de la leche en polvo (LDP), que suele registrar cotizaciones en torno a los USD 2,000/ton, en el primer semestre de 2022 alcanzó prácticamente los USD 4,500/ton, elevando considerablemente la factura para México (Figura 2).

Con la mantequilla se constató algo similar, pues de oscilar los precios promedio entre USD 3,500 y 5,000/Ton, en 2022 se elevaron hasta más de USD 7,000 en el segundo trimestre de 2022 y aunque bajaron en 2023 en el primer trimestre de 2024 han retomado su tendencia al alza, dadas la demanda de este producto desde los países asiáticos. En cuanto a leche entera en polvo y queso Cheddar el comportamiento se asemeja a lo descrito para la leche descremada en polvo, por lo que en 2024 registran precios equivalentes al período prepandemia y de la crisis económica mundial (Figura 2).

Figura 2. Evolución de los precios de leche descremada en polco (LDP), leche entera en polvo (LEP), queso Cheddar y Mantequilla, 2010-2024



Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2024.

De acuerdo con los registros de SIAP, 2024b, la leche en polvo representó el 76 y 68% de las importaciones lácteas totales en 2022 y 2023, respectivamente. La alta factura del primer año se explica por los altos precios internacionales antes referidos. También en consonancia con lo apuntado previamente, la factura por las importaciones de mantequilla aumentó de manera notable (más de 56% en los dos años analizados).

Cuadro 1. México: Importación de productos lácteos 2022 y 2023. (Miles de USD)

Código	Producto	2022	2023	Variación porcentual
0401	Leche sin concentrar sin azúcar	22,545	24,444	8.4
0404	Lactosuero	222,080	171,496	-22.8
0405	Mantequilla	182,693	286,550	56.8
040210	Leche en polvo	1,424,135	1,098,152	-22.9
040221	Leche en polvo sin azúcar	20,784	32,261	55.2
	Total	1,872,237	1,612,903	-13.8

Fuente: SIAP, 2024b

La problemática para México es que la proyección de su producción para 2024 es que crezca a un ritmo lento, de alrededor de 1% media anual, por la dificultad de ampliar el hato lechero y de impulsar un cambio tecnológico importante entre los estratos de productores de media y pequeña escala. Ante ello, es muy posible que México siga figurando como uno de los principales importadores de leche en polvo, en especial, provenientes de EUA, considerando el aumento de la producción y las agresivas estrategias comerciales de ese país (USDA, 2023).

El SPL resulta vital en el desarrollo socioeconómico México, pero ha evolucionado bajo un modelo dual, en el cual el notable desarrollo de un reducido grupo de productores primarios, industrias y consumidores, no ha podido compensar el escaso desarrollo productivo, tecnológico y logístico de la mayoría de los actores económicos, lo que ha repercutido en una producción primaria insuficiente, de amplias capas de ganaderos con bajos ingresos y con la mayoría de los consumidores que no alcanza niveles de alimentación acordes a las recomendaciones internacionales.

Estos resultados derivan de los insuficientes mecanismos de coordinación entre los actores de los diferentes eslabones del SPL, ya que algunos se conectan con los productores de altos ingresos y algunas industrias se enlazan con los productores de forrajes y de derivados lácteos de EUA y de otros países exportadores de ese tipo de productos. La mediación de las instituciones nacionales, como Liconsa, tampoco ha generado los incentivos suficientes para favorecer ese tipo de coordinación vertical y horizontal entre actores de México.

Los riesgos de esta dependencia de importaciones de productos lácteos se conocieron con agudeza en 2022, cuando los vectores de la crisis internacional provocaron un alza inusitada de los precios de diferentes *commodities*, como la leche en polvo descremada. Esa volatilidad de precios debería ser un incentivo para mejorar la eficiencia de todo el SPL de México, lo que seguramente implicaría un desarrollo constante entre segmentos productivos y al interior de ellos.

Los ganaderos como los consumidores de leche y derivados de bajos ingresos requieren una mención especial, ya que una parte de ellos se han beneficiado de los apoyos de Liconsa y del reforzamiento de la normatividad de los productos lácteos, pero la intervención oficial sigue siendo restringida desde el punto de vista presupuestal como estratégicamente. Ello implicaría intervenciones articuladas para, por ejemplo, promocionar modelos de producción sustentable que mitiguen la emisión de GEI y el deterioro de recursos hídricos y edáficos. De igual forma, supone un reordenamiento territorial de la producción lechera y su fomento en las regiones con mayor potencial y con costos de producción y ambientales racionales.

El fomento de las pequeñas agroindustrias lácteas, en especial de aquellas derivadas de organizaciones de productores primarios, también debería ser un área de intervención, para agregar valor a sus productos y, por ende, acceder a mejores precios y, en esa línea mejorar progresivamente la calidad de sus productos y una inserción positiva en los mercados. Sin duda los desafíos son imponentes, pero deben involucrar a todos los actores del SPL bajo el auspicio gubernamental y de organizaciones de productores de los diferentes segmentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Avilés Ruiz R., Barrón Bravo O., Gutiérrez Chávez A. J. y Ruiz Albarrán M. 2024. "Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo", *Ciencias Veterinarias y Producción Animal*, 1(2), 32-47 (Ene -Ago 2024), pp. 32-47.
- Bautista Martínez Y., Herrera J.G., Espinosa J.A., Martínez E., Vaquera H. Morales A. Aguirre G., 2019. "Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México ITEA-Inf.", *Tec. Econ. Agrar.* 115(2): 134-148. [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2019/115-2/ITEA_115-2\(134-148\).pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2019/115-2/ITEA_115-2(134-148).pdf)
- Camacho-Vera J. H., Cervantes F., Palacios M.I., Rosales F., Vargas J.M., 2017. "Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar", *Rev Mex Cienc Pecu* 8(1):23-29, <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4313>
- CANILEC, 2023. El gran problema del sector lácteo es el poder adquisitivo: Ricardo Villavicencio, líder de la Canilec. <https://goula.lat/lideres/el-gran-problema-del-sector-lacteo-es-el-poder-adquisitivo-ricardo-villavicencio-lider-de-la-canilec/>, consultado el 17 de abril de 2024.

- Cecilia Gallegos D., Taddei-Bringas C. y González-Córdova A, 2023. "Panorama de la industria láctea en México", *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. Volumen 33, Número 61. Enero–Junio, pp. 1-31.
- Delgado Cabeza M., 2010. "El sistema agroalimentario globalizado: imperios alimentarios, degradación social y ecológica", *Revista de Economía Crítica*, núm. 10, segundo semestre 2010, pp.32-61
- FAO. 2023. Dairy Market Review – Emerging trends and outlook in 2023. Rome. <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/dairy/milk-and-milk-products/en>
- FAO, 2023a <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/en/c/1636189/>.
- FAO, 2024. Food Price Monitoring and Analysis. <https://fpma.fao.org/giews/fpmat4/#/dashboard/tool/international>
- INEGI, 2023. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, 2022. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/>
- LICONSA, 2024. Distribución de la leche LICONSA. <https://www.gob.mx/liconsa/acciones-y-programas/distribucion-de-la-leche-liconsa>.
- Martínez-Alba María, Molina-Morejón V., García-Munguía C., Díaz-Carretero E., Vivanco-Florido J., y Mata-Zamores S., 2021. "Estado del arte de la producción lechera mexicana", *Abanico Agroforestal*. Enero-diciembre 2021; 1-18. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2021.1>
- Mora P., Mota D, Álvarez A., Flores K., Reyes B., Torres F., Bertoni A., Cruz R, Ramírez E. y Guerrero I., 2019. "La huella ambiental de la producción pecuaria" en Guerrero I, Napolitano F., Mota D. y Orihuela A. (Coordinadores), *El Búfalo de agua en las Américas, Enfoques prácticos y experimentales*, Editorial BM Editores, Segunda edición, pp. 582-628.
- OECD/FAO, 2023, OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/2ad6c3ab-es>.
- SIAP, 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>
- SIAP, 2024a. Panorama Agroalimentario 2023, <https://panorama.siap.gob.mx/vista/panorama-agroalimentario.php>
- SIAP, 2024b. Balanza Comercial Agroalimentaria de México 2023, <https://www.gob.mx/siap/documentos/reporte-mensual-de-la-balanza-comercial-agroalimentaria-de-mexico>
- SIAP. 2023. Expectativas Agroalimentaria de México 2023, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/819645/Expectativas-2023.pdf>
- SIAP, 2023a. Panorama Agroalimentario 2023 https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgjw_uOse_MsOF9jZQDAm_FOD9/view
- USDA, 2023. MEXICO, GAIN Report USDA-FAS, may/23 <https://www.ocla.org.ar/noticias/26619606-mexico-may-23#:~:text=No%20existen%20existencias%20gubernamentales%20de%20leche%20o%20productos%201%C3%A1lcteos%20en%20M%C3%A9xico.&text=La%20>

producción prevista para 2023 es de 465.000 TM (2025m que 2021).

Villavicencio-Gutiérrez M. R., Callejas N., Rogers N, González V, González R., Galdino C. y Martínez F, 2023. "Prospectiva ambiental al 2030 en sistemas de producción de leche de vaca en México", *Rev Mex Cienc Pecu* 14(4):760-78, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i4.6410>

Guía para autores

Tipo de contribución

1. Artículos de investigación
2. Notas de investigación
3. Ensayos y revisiones bibliográficas
4. Reseñas de libros y comentarios

Los *Artículos de investigación* deben reportar resultados de investigaciones originales y no haber sido entregados para su publicación en cualquier otro medio. Los artículos no deben rebasar más de 30 cuartillas manuscritas incluyendo figuras, cuadros, referencias, etc.

Las *Notas de investigación* son una descripción concisa y completa de una investigación limitada, la cual no puede ser incluida en un estudio posterior.

La *Nota científica* debe estar completamente documentada por referencias bibliográficas y describir la metodología empleada como en un artículo de investigación. No deberá exceder las 15 cuartillas, incluyendo figuras, cuadros y referencias.

Los *Ensayos y revisiones bibliográficas* deben incluir un tema de interés actual y relevante. Estos trabajos no deben exceder las 20 cuartillas.

Las *Reseñas de libros* pueden ser incluidas en la revista en un rango de libros relevantes que no tengan más de 2 años de haber sido publicados. Las reseñas no deben exceder las 6 cuartillas.

Presentación de textos

La presentación implica que todos los autores autorizan la publicación del documento y que están de acuerdo con su contenido. Al aceptar el artículo la revista puede cuestionar a el (las, los) autor(as, es) para transferir el derecho de su artículo a la editorial.

Los trabajos para consideración pueden ser enviados de dos formas:

1. Archivo electrónico. Se enviará en documento de word como un archivo adjunto al correo electrónico aalvarez@correo.xoc.uam.mx. Mediante la misma vía se realizará el acuse de recibo.
2. Documento impreso (papel). Se enviarán las copias impresas por mensajería a:

Adolfo Álvarez Macías

Director Editorial

Revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*

Edificio 34, 3º piso, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, CP 04960, México, D.F.

Tel: 5483-7230 y 31

Archivo electrónico

Se enviará el trabajo en dos archivos adjuntos. El primero incluirá el texto completo; el segundo, en caso de existir, las gráficas, tablas o figuras. El documento deberá tener los cuatro márgenes de 2.5 centímetros y numerarse de manera continua todos los renglones. El tipo de letra será Arial, tamaño 12 puntos a espacio de 1.5 de interlínea. Las cuartillas deberán estar numeradas.

Documento impreso

Para la consideración inicial del texto, es necesario enviar tres copias impresas en total, adjuntando las versiones electrónicas. Posterior a la aceptación final, deberá enviarse en un disco compacto (CD) con dos archivos: la versión final y una sugerencia de cómo quedaría impreso. En la etiqueta del disco, es necesario indicar el nombre de los archivos así como de los autores.

Preparación y consideraciones generales para el manuscrito

1. El texto deberá ser escrito en español, inglés o francés.
2. Si se decide enviar el documento impreso, es necesario adjuntar las ilustraciones originales y dos juegos de fotocopias (tres impresiones de una fotografía).
3. Deberá tener las líneas numeradas, incluyendo resumen, pies de página y referencias.
4. El texto deberá tener el siguiente orden:
 - Título (Claro, descriptivo y corto).
 - Nombre de el (las, los) autor (as, es).
 - Teléfono, correo electrónico y fax del primer autor para recibir correspondencia.
 - Dirección actual de el (las, los) autor (as, es).
 - Resumen.
 - Palabras clave (términos indexados) de 3 a 6.
 - Introducción.
 - Descripción del área, métodos y técnicas.
 - Resultados.
 - Discusión.
 - Conclusión.
 - Agradecimientos y reconocimientos.
 - Referencias.
 - Cuadros.
 - Mapas o anexos diversos.

Nota: El título y subtítulo deberán estar en líneas diferentes sin sangrías. Se utilizarán altas y bajas; se escribirá con mayúsculas el carácter inicial y los nombres propios.

5. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI).

Resumen

El resumen deberá ser claro, descriptivo y contener no menos de 800 ni más de 900 caracteres sin considerar los espacios para cada uno de los idiomas en que se presente. Se deberá incluir el resumen en español.

Es conveniente incluir en el resumen los resultados más significativos así como las principales conclusiones.

Cuadros

1. El autor deberá tener en cuenta las limitaciones en tamaño y presentación de la revista. Deberán evitarse cuadros largos, y exceder las dimensiones de una cuartilla (21 x 27.9 centímetros). El cambiar columnas y renglones puede reducir la dimensión del cuadro.
2. Los cuadros se enumeran de acuerdo a su secuencia en el texto y en números arábigos. El texto debe incluir la fuente de todos los cuadros.
3. Cada cuadro estará impreso en una cuartilla separada del texto.
4. Cada cuadro debe tener un título corto y autoexplicativo. El tipo de letra deberá ser el mismo que el utilizado en el texto (arial, 12 pts.) y colocarse al centro y arriba.
5. Los cuadros elaborados deberán ser propios con base en la información generada por los (as) autores (as). Si llegasen a utilizar información secundaria, deberá darse el crédito correspondiente a la fuente utilizada.

Ilustraciones

1. Todas las ilustraciones (mapas, líneas de dibujo y fotografías) deberán enviarse por separado, sin marco y ajustarse al tamaño de una cuartilla (21 x 27.9 cm).
2. Las ilustraciones deberán ser secuenciadas con números arábigos de acuerdo al texto. Las referencias deben ser hechas en el texto para cada ilustración.
3. Las ilustraciones que contengan texto deberán estar en Indian ink o en etiquetas impresas. Asegurarse que el tamaño del caracter sea lo bastante grande para permitir una reducción del 50% sin volverse ilegible. Los caracteres deberán estar en español, inglés y francés. Usar el mismo tipo de caracter y estilo de la revista.
4. Cada ilustración debe tener una leyenda.
5. Las fotografías sólo son aceptables si tienen un buen contraste e intensidad. Las copias deben ser nítidas y brillantes.
6. Pueden enviarse ilustraciones a color, pero deberá tomarse en cuenta que serán convertidas en escala de grises para su publicación.
7. El formato de entrega será tiff o eps en alta resolución (300 dpi a tamaño carta o proporcional para su manejo).

Referencias

1. Todas las publicaciones citadas a lo largo del documento deberán ser presentadas con datos en la lista de referencias al final del texto.
2. Dentro del texto, al referirse a un autor (as, es) deberá hacerse sin inicial seguido del año de publicación y, de ser necesario, por una referencia corta sobre las páginas. Ejemplo: “Desde que Martínez (2007) demostró que...”, “Esto coincide con resultados posteriores (Sánchez, 2009: 20-21)”.

3. Si la referencia que se indica en el texto es escrita por más de dos autores, el nombre del primer autor será seguido por “et al.” o “y colaboradores”.
4. La lista de referencias deberá indicarse en orden de acuerdo al apellido de el (as, os) autor (as, es), y cronológicamente por autor.
5. Usar el siguiente sistema para indicar las referencias:

a. De publicación periódica

Gligo, N., 1990, “Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola”, *Comercio Exterior*, 40(12):135-142.

b. Editado en Simposium, edición especial etc, publicación en periódico

CIAT-UNEP, 1995, Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe, Documento de discusión, Taller regional sobre uso y desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad, PNUMA, México.

c. De libros

Sassen, S., 1999, *La ciudad global*, EUDEBA/Universidad de Buenos Aires, Argentina.

d. De un capítulo en libro

Muñoz, O., 1991, “El proceso de industrialización: teorías, experiencias y políticas”, en Sunkel, O., (comp.), *El desarrollo desde dentro*, Lecturas, núm. 71, FCE, México.

e. De tesis

Evangelista, O. y C. Mendoza, 1987, *Calendarios agrícolas en cuatro ejidos del Municipio de Coxquibui, Veracruz*, tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

f. De referencias de sitios

Banco Central de la República Argentina, 2005. “Entidades Financieras: Información por entidad”, disponible en <http://www.bcr.gov.ar/comunes/p0003.asp>, consultado el 23/01/2005. Fecha última actualización: 07/01/2005. Unión Cívica Radical: Comité Nacional (UCR Web). Disponible en: <http://www.ucr.org.ar/>, consultado el 28/10/2000.

g. De artículos de publicaciones periódicas en bases de datos

Schrader, A., 1999, “InternetCensorship: Issues for teacher-librarian”, en *Teacher Librarian*, vol. 26, núm. 5, Academic Search Elite, pp. 8-12, disponible en <http://www.epnet.com/ehost/login.html>, consultado el 28/11/2000.

Para otros ver detalles en página web de la revista.

Fórmulas

1. Las fórmulas deberán ser escritas de acuerdo a los estándares de la revista. Dejar un espacio amplio alrededor de las fórmulas.
2. Los subíndices y superíndices deberán ser claros.
3. Los caracteres griegos y otros no latinos o símbolos escritos a mano deberán ser explicados e indicar su significado al margen de la página en donde aparecen por primera vez. Tener especial cuidado para mostrar claramente la diferencia entre un cero (0) y el caracter O y entre el 1 y el caracter I.
4. Para indicar fracciones simples, utilizar la diagonal (/) en lugar de una línea horizontal.
5. Enumerar, en paréntesis, las ecuaciones a la derecha. En general, sólo las ecuaciones explícitamente referidas en el texto, necesitan ser numeradas.
6. Se recomienda el uso de fracciones en lugar de signos de raíz.
7. Los niveles de significancia estadística que son mencionados sin más explicación son $P < 0.05 = *$, $P < 0.01 = **$ y $P < 0.001 = ***$
8. En las fórmulas químicas, las valencias de los iones deberán indicarse, por ejemplo, como Ca^{2+} y no como Ca^{++} .

Pie de página

1. Se recomienda hacer los pies de página a través de un procesador de textos.
2. En caso de utilizarlos, deberán numerarse en el texto, indicando el número como superíndice y que sean tan cortos como sea posible. El tamaño del carácter será de 8 pts.

Nomenclatura

1. Los autores y editores aceptarán las normas de nomenclatura biológica vigente.
2. Todos los seres vivos (cultivos, plantas, insectos, aves, mamíferos, etc.) deberán ser identificados por sus nombres científicos, con excepción del nombre común de animales domésticos.
3. Todos los seres vivos y otros compuestos orgánicos deberán ser identificados por sus nombres genéricos cuando son mencionados por primera vez en el texto. Los ingredientes activos de todas las formulaciones deberán ser igualmente identificadas.

Derechos de autor

1. Cuando el autor cite algún trabajo de otra persona o reproduzca una ilustración o tabla de un libro o artículo de revista debe estar seguro de no estar infringiendo los derechos de autor.
2. Aunque en general un autor puede citar de otro trabajo publicado, debe obtener permiso del poseedor del derecho de autor si se requiere reproducir tablas, placas u otras ilustraciones.

3. El material en trabajos no publicados o protegidos, no podrá ser publicado sin obtener el permiso por parte del poseedor de los derechos.
4. Deberá incluirse un agradecimiento por algún material autorizado para su publicación.

Criterios de ditaminación y pruebas del formato del trabajo

1. Una vez revisado, conforme a las políticas de la revista, cada texto será sometido para su dictamen al menos a dos revisores miembros del Comité Editorial. Para ser publicado cada trabajo deberá contar con dos dictámenes aprobatorios.
2. Si el documento cuenta con observaciones, se regresará el texto para la corrección. Una vez realizadas las correcciones conforme a los criterios de evaluación del Comité Editorial de la revista, se enviará una prueba de formación al autor correspondiente. Sólo los errores tipográficos serán corregidos; no se harán cambios o adiciones al documento.

Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.
Revista electrónica
Se terminó de formar en mayo de 2024