

# 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

51

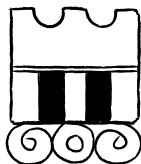
Diciembre-Julio  
2026



# **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. Gustavo Pacheco López

Secretaria General  
Dra. Esthela Irene Sotelo Núñez

## UNIDAD XOCHIMILCO

Rector  
Dra. Ma. Angélica Buendía Espinosa

Secretaria  
Dra. Irma Gabriela Anaya Saavedra

## DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Director  
Dr. Luis Amado Ayala Pérez

Jefe del Depto. de Producción Agrícola y Animal  
Mtro. Iván Pável Moreno Espíndola

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 2026, número 51, Diciembre-Julio de 2026 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 No. 3855, Col. Rancho los Colorines, Alcaldía Tlalpan, Código Postal 14386, 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](mailto: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: 03 de febrero de 2026.  
Tamaño del archivo 9020 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.

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

# Contenido

## **9 Editorial**

Adolfo Gpe. Álvarez Macías

## **13 Política**

Adolfo Gpe. Álvarez Macías

### **ARTÍCULOS CIENTÍFICOS**

## **17 Entornos alimentarios y transición nutricional: algunos impactos de las tiendas de conveniencia OXXO en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco**

Tatiana María Guzmán Guzmán, Mara Villalobos Chavarín, Diego Romero Vargas, Peter Rijndaldus Wilhelmus Gerritsen

## **39 Cambios socioeconómicos y productivos de la caprinocultura en dos municipios de Oaxaca, México (2018–2026):**

Alfonso Pedro Santos Martínez

## **55 Desarrollo rural y social comunitario en la producción del búfalo de agua: el aprovechamiento de espacios marginales en las unidades de producción familiar**

Daniel Mota Rojas, Agustín Orihuela, Adolfo Álvarez Macías, Isabel Guerrero Legarreta, Fabiola Torres, Adriana Domínguez, Fabio Napolitano, Rosy Cruz Monterrosa, Julio Martínez Burnes, Iván Zambrano, Marcelo Daniel Ghezzi

## **75 Perspectivas neuroendócrinas del cortisol: Implicaciones biológicas y de bienestar animal**

Daniel Mota Rojas, Agustín Orihuela, Ismael Hernández Avalos, Julio Martínez Burnes, Adriana Domínguez Oliva, Fabiola Torres Bernal, Brenda Reyes Sotelo, Agatha Miranda Cortés, Marcelo Ghezzi Aragón, Alejandro Meléndez Herrada

**99 Alternativas biotecnológicas y sostenibles para el control de *Dactylopius opuntiae* en sistemas de cultivo de *Opuntia ficus-indica***

Guadalupe Medina Ríos, Juan E. Barranco Florido, Silvia Rodríguez Navarro, Víctor H. Marín Cruz

**117 Fronteras disciplinarias y brechas explicativas en la investigación sobre el cambio de uso del suelo: una síntesis conceptual comparativa**

Claudia Coral, Robert Carcamo Mallen, Valerie GrawOvando

**161 Uso y beneficios de los simuladores quirúrgicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia**

Adrián Emmanuel Iglesias Reyes, Yolanda Margarita Sánchez Castilleja, Sheila Irais Peña Corona, Carlos Pedroza Cruz, Hernán Cortes Callejas y Marcela Vergara Onofre

**185 Relación del Complejo Mayor de Histocompatibilidad clase II con la susceptibilidad o resistencia a algunas enfermedades autoinmunes y neoplásicas que afectan a los perros**

Yolanda M. Sánchez Castilleja

**RESEÑAS**

**205 La nueva geopolítica de la alimentación: políticas para una autonomía resiliente**

Adriana Moreno Blanco

**209 El Estado de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición en el Mundo 2025**

Adolfo Gpe. Álvarez Macías

**217 Guía de autores**

# Editorial

Sobre nuestra publicación, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, se presenta un nuevo número que da continuidad a su trayectoria de publicación regular y de acceso abierto, gracias al respaldo institucional del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. La revista mantiene su propósito de difundir avances científicos, tecnológicos y humanísticos, así como análisis sobre los desafíos emergentes del medio rural y los sistemas agroalimentarios de México y en otras latitudes, como: la gestión de los recursos naturales, los recursos genéticos, las tecnologías agrícolas, pecuarias y alimentarias, el bienestar animal, y los temas vinculados con el mercadeo, la sanidad e inocuidad y la alimentación humana y animal, entre otros.

En respuesta al contexto de austeridad que atraviesan nuestra Universidad y la economía nacional, la revista continúa fortaleciendo sus procesos editoriales y la administración eficiente de sus recursos; por ello, se publica exclusivamente en formato digital. Bajo esa lógica, se reconoce el trabajo colaborativo de autoras y autores, dictaminadoras y dictaminadores, y del equipo editorial, cuya incidencia ha sido fundamental para la mejora continua de la revista. Asimismo, se mantiene abierta la convocatoria para que investigadoras e investigadores de instituciones nacionales y del extranjero, desde las diversas disciplinas relacionadas con el desarrollo de las sociedades rurales, la producción agrícola, pecuaria, forestal y pesquera, los territorios y el medio ambiente, presenten contribuciones derivadas de sus investigaciones científicas.

Este número reúne diez colaboraciones que reflejan la vocación interdisciplinaria de la revista, con trabajos que abarcan desde la sociología rural y la economía agroalimentaria hasta la fisiología animal y la educación veterinaria. En primera instancia, en el eje de sistemas alimentarios y transición nutricional, Tatiana María Guzmán et al., analizan cómo las tiendas de conveniencia OXXO han transformado los patrones de consumo en

un poblado de Jalisco. El estudio documenta que, pese a que las y los consumidores reconocen los efectos negativos de los productos ultraprocesados sobre la salud, la conveniencia y la accesibilidad terminan por imponerse, lo que plantea retos tanto para la nutrición como para la dinámica local.

En el ámbito de la ganadería familiar y el desarrollo rural, dos trabajos abordan especies con fuerte arraigo territorial. Por un lado, Alfonso Santos examina, mediante metodología etnográfica, los cambios socioeconómicos y productivos de la caprinocultura en dos municipios de la Sierra Sur de Oaxaca entre 2018 y 2026; sus hallazgos —disminución de productores, bajo relevo generacional, feminización acelerada y reducción de los rebaños— ponen de relieve una actividad en riesgo que exige el rediseño de agroecosistemas funcionales e incluyentes. Por su parte, Daniel Mota-Rojas y coautores revisan críticamente la literatura internacional sobre el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) y su impacto en el desarrollo rural. Se destaca como esta especie resulta estratégica para generar ingresos y aprovechar espacios marginales —humedales, zonas inundables, suelos de baja calidad— dentro de las unidades de producción familiar, subrayando su potencial de expansión en las Américas, especialmente frente a los retos que viene planteando el cambio climático.

En fisiología y bienestar animal, Daniel Mota Rojas y colaboradores ofrecen una revisión sobre las perspectivas neuroendócrinas del cortisol, discutiendo su papel como biomarcador de estrés y los factores que deben considerarse para interpretar correctamente sus niveles en mamíferos no humanos. En otro sentido, desde la sanidad vegetal se aborda en el trabajo de Medina-Ríos Guadalupe y colaboradores, quienes revisan alternativas biotecnológicas sostenibles —control biológico y hongos entomopatógenos— para el manejo de *Dactylopius opuntiae*, plaga que afecta al nopal (*Opuntia ficus-indica*) y

para la cual el manejo integrado se perfila como la vía más viable ante la falta de insecticidas autorizados en México.

Desde una perspectiva conceptual, Claudia Coral y colaboradores presentan una síntesis comparativa de las tradiciones teóricas que han explicado el cambio de uso del suelo entre 1980 y 2022, identificando tres brechas explicativas —el contexto, el desafío micro-macro y el potencial predictivo— y proponiendo enfoques integradores para fortalecer la investigación futura sobre esta temática. Los autores concluyen que superar estas brechas exige reconocer que el cambio ambiental emerge de interacciones dinámicas entre actores sociales, instituciones y ecosistemas a múltiples escalas, condición clave tanto para el avance teórico del campo como para el diseño de herramientas más eficaces de planificación territorial y toma de decisiones.

En el terreno de la educación veterinaria, Adrián Iglesias Reyes y coautores revisan la evolución, los tipos y los beneficios de los simuladores quirúrgicos en la formación de médicos veterinarios zootecnistas, destacando su contribución a la reducción del uso de animales vivos en la enseñanza clínica, en línea con los principios éticos que han derivado de las 3R. En una línea complementaria de salud animal, Yolanda M. Sánchez Castilleja analiza la relación entre el Complejo Mayor de Histocompatibilidad clase II (DLA) y la susceptibilidad o resistencia a enfermedades autoinmunes y neoplásicas en perros, mostrando cómo un mismo alelo puede conferir riesgo en una raza y protección en otra. La autora concluye que la identificación de estos haplotipos de riesgo constituye una herramienta temprana para detectar animales susceptibles, con implicaciones prácticas para la prevención, el control de enfermedades y la selección genética en la cría canina.

Finalmente, el número incluye dos reseñas de coyuntura internacional. Adriana Moreno sintetiza el

informe *La nueva geopolítica de la alimentación*, publicado por IPES-Food en marzo de 2026, destacando cómo las tensiones comerciales, los conflictos militares y el debilitamiento de la cooperación multilateral desestabilizan los sistemas alimentarios globales y elevan los precios de los alimentos. En complemento, Adolfo Álvarez reseña *El Estado de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición en el Mundo 2025* (SOFI 2025), coeditado por FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, que estudia cómo la inflación prolongada de los precios de los alimentos erosiona el acceso a dietas saludables entre las poblaciones de menores ingresos en, prácticamente, todo el mundo.

Los trabajos incluidos en este número se publican gracias a la generosidad intelectual de las y los autores, al trabajo fundamental y sigiloso de las y los revisores, y al tesón del equipo editorial y técnico que gestiona los procesos de edición y publicación y, en general, a todas las personas que con su esfuerzo y talento han sido el cimiento de este proyecto editorial.

**Profr. Adolfo Gpe. Álvarez Macías**  
Director de la Revista



# Política

Al presentar este número de julio de 2026, Vol. 26, Núm. 5, la revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* (SRPMA), adscrita al Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, continúa una tarea editorial que, número tras número, busca ofrecer un espacio riguroso para el análisis del campo mexicano y sus territorios. Expresamos nuestro reconocimiento a las autoridades de la UAM Xochimilco, a la División de Ciencias Biológicas y de la Salud y, en particular, al Departamento de Producción Agrícola y Animal, por el respaldo institucional que sostiene este proyecto editorial con clara vocación pública.

Asimismo, reconocemos la generosidad intelectual y el compromiso de las autoras y autores, el trabajo fundamental y a menudo silencioso de las y los revisores, y la dedicación del equipo editorial y técnico que gestiona los procesos de evaluación, edición y publicación. La política editorial de la revista se sostiene en esta corresponsabilidad para fortalecer los mecanismos de dictamen y avanzar en calidad y visibilidad académica.

Este número se publica en un momento particularmente exigente para el sector agroalimentario mexicano. ¿Qué explica la intensidad de las tensiones que hoy atraviesa el campo? En buena medida, una combinación de crisis que se traslapan: i) persistencia de pobreza y desigualdades en los territorios rurales; ii) degradación de recursos naturales derivada de sistemas intensivos y tecnologías inadaptadas; iii) reconfiguración de cadenas agroalimentarias, con mayor concentración económica y asimetrías de poder; iv) incremento y volatilidad de costos de insumos, que estrechan márgenes y trasladan riesgos hacia los productores primarios; v) un entorno comercial internacional inestable, expresado en la revisión anual del T-MEC en proceso desde julio de 2026; vi) la crisis sanitaria del gusano barrenador del ganado (GBG), que desde noviembre de 2024 ha impedido la exportación de más de dos millones de cabezas de bovino en pie, generado pérdidas superiores a 2,700 millones de dólares y llegado ya a

26 entidades, incluidas Tamaulipas y Chihuahua; y vii) la intensificación de la crisis climática, que multiplica sequías –presentes hoy en 76% del territorio nacional–, inundaciones, pérdida de cosechas y estrés térmico en vegetales y animales.

En el sector agropecuario mexicano estas tensiones se expresan con especial intensidad por la heterogeneidad estructural del campo: conviven regiones altamente integradas a los mercados de exportación –México vendió al exterior más de 50 mil millones de dólares en productos agroalimentarios en 2024– con territorios campesinos e indígenas que sostienen buena parte de la diversidad biocultural del país, pero enfrentan rezagos históricos en infraestructura, financiamiento, tecnología y protección social. El dato es elocuente: 95% de las microempresas agropecuarias carece de acceso formal al crédito y solo 30 % de las unidades de producción adopta tecnologías avanzadas.

A esta heterogeneidad se suma una oportunidad no exenta de riesgos: el nearshoring. México ha capturado 36 mil millones de dólares en inversión asociada a la reconfiguración de cadenas de suministro, con un potencial estimado de 79 mil millones. Sí, esta relocalización puede fortalecer la demanda de infraestructura de frío, procesamiento y proveeduría agroalimentaria local. Pero el beneficio no llegará de forma automática a los territorios más rezagados si no se acompaña de política pública deliberada.

Mirando hacia el futuro, SRPMA reafirma su vocación de consolidarse como un espacio académico plural que articule, con rigor científico y visión humanista, los debates sobre producción agropecuaria, sistemas alimentarios, territorios y sociedades rurales, transición agroecológica, sanidad animal y transformaciones socioambientales. Entre las líneas de reflexión que consideramos impostergables destacan:

### **1. Justicia económica y certidumbre en las cadenas agroalimentarias.**

La inestabilidad arancelaria y la incertidumbre derivada de las revisiones periódicas del T-MEC exigen mecanismos que reduzcan la captura de valor por intermediación, fortalezcan a las organizaciones de productores y amplíen mercados alternativos –Unión Europea, Canadá– sin desatender la relación estratégica con Estados Unidos.

### **2. Sanidad animal y bioseguridad como prioridad nacional.**

La crisis del gusano barrenador del ganado ha mostrado que la sanidad pecuaria no es un tema técnico secundario, sino una condición para sostener la exportación, el ingreso rural y la salud pública. La coordinación binacional, el fortalecimiento de la vigilancia epidemiológica y la inversión en capacidad diagnóstica son impostergables.

### **3. Transición agroecológica y manejo sustentable de recursos.**

Implica reducir la dependencia de insumos externos, diversificar sistemas, restaurar suelos y reconocer el papel estratégico de las semillas nativas y los sistemas locales de innovación. Los vínculos agricultura-ganadería, el bienestar animal y la restauración de sistemas forestales entran en esta temática.

### **4. Adaptación climática con base científica y saberes locales.**

Con más de tres cuartas partes del territorio nacional bajo alguna condición de sequía, la gestión integral del agua, la infraestructura de riego eficiente, las variedades y razas adaptadas, y los esquemas de aseguramiento agropecuario resultan centrales.

**5. Enfoque de derechos, género y juventudes.**

No habrá resiliencia sin equidad: acceso a tierra, agua, crédito y asistencia técnica, y reconocimiento del trabajo de cuidados y de la centralidad de los pueblos indígenas en la custodia territorial.

**6. Elevar productividad e ingresos en territorios marginados.**

La escasa incorporación de tecnología –apenas 30% de las unidades productivas– y el limitado acceso a mercados mantienen rendimientos bajos. Se requieren modelos productivos adaptados, asistencia técnica pertinente y esquemas de financiamiento accesibles.

**7. Investigación y extensión articuladas a problemas reales.**

La innovación no puede limitarse a paquetes tecnológicos: debe integrar salud humana, animal y ambiental, bioseguridad, bienestar animal, calidad e inocuidad, y estrategias de valor agregado con identidad territorial.

En este entramado, SRPMA continúa contribuyendo como plataforma académica para analizar críticamente las transformaciones rurales y proponer alternativas. Con una periodicidad semestral sostenida desde el año 2000, la revista reitera su compromiso de abrir espacios para la discusión documentada y la construcción de alternativas que hagan del campo, de los sistemas agroalimentarios y de los territorios rurales, lugares posibles para la vida digna, la justicia social y la sostenibilidad.

**Profr. Adolfo Gpe. Álvarez Macías**  
Director de la Revista



# Entornos alimentarios y transición nutricional: algunos impactos de las tiendas de conveniencia OXXO en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco

Tatiana María Guzmán Guzmán,<sup>1</sup> Mara Villalobos Chavarín,<sup>1</sup> Diego Romero Vargas,<sup>1</sup> Peter Rijnaldus Wilhelmus Gerritsen<sup>2\*</sup>

**Resumen.** La alimentación está vinculada a procesos culturales e históricos locales y regionales, pero en la actualidad el consumo depende de redes agroalimentarias globales dominadas por las empresas transnacionales. En México, el gasto principal de los hogares se destina a alimentos, en su mayoría poco nutritivos, lo que ha favorecido obesidad y enfermedades crónicas. Este fenómeno se relaciona con las nociones “entorno alimentario” y “transición nutricional”, marcadas hoy día por el predominio de productos ultra procesados. En este contexto, las tiendas de conveniencia, como los establecimientos OXXO, han transformado de manera radical los hábitos de consumo al priorizar rapidez y accesibilidad, ofreciendo sobre todo alimentos y bebidas ultra procesados. En Autlán de Navarro, donde existen trece OXXO, se observan distintos perfiles de clientes según edad, nivel educativo y ocupación, pero en todos prevalece el consumo de productos poco saludables. Aunque muchos reconocen sus efectos negativos, la conveniencia pesa más que la salud, planteando retos para la nutrición y la economía local.

**Palabras clave.** OXXO; Patrones de consumo; Autlán de Navarro; Tiendas de conveniencia; Alimentación; Salud.

**Abstract.** Nutrition has always been closely related to local and regional cultural and historical processes, but today food consumption depends on global agroalimentary networks dominated by transnational companies. In Mexico, households' main expenditure is on food, mostly low-nutritional products, fostering obesity and chronic diseases. This relates to the social phenomena of “food environments” and “nutritional transition,” currently marked by the prevalence of ultra-processed foods. In this context, convenience stores such as the OXXO shops in Mexico have radically transformed consumption habits by prioritizing speed and accessibility, mainly offering ultra-processed foods and drinks. In the town of Autlán de Navarro, where 13 OXXO stores operate, different customer profiles emerge depending on age, education, and occupation, yet in all cases the consumption of unhealthy products predominates. Although many acknowledge their

<sup>1</sup> Programa de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara.

<sup>2</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara.

\* Autor de contacto. Correo electrónico: peter.gerritsen@academicos.udg.mx

*negative health effects, convenience outweighs health concerns, posing challenges for nutrition and the local economy.*

**Keywords.** *OXXO; Consumption patterns; Autlán de Navarro; Convenience stores; Food; Health.*

## INTRODUCCIÓN

La alimentación es indispensable para todo ser vivo. Para el caso del ser humano, esta necesidad ha sido asegurado de manera individual y colectiva y se ha vinculado con procesos culturales desde la prehistoria hasta la actualidad (Sahlins et al., 1987). Más en particular, la obtención de alimentos se encuentra siempre mediado por dinámicas culturales que plantean el cómo se establecen las dinámicas individuales y colectivas de consumo (Harris, 1988; Islas-García y Sánchez-Plascencia, 2013).

A lo largo del tiempo, el desarrollo agroalimentario ha transformado y complejizado paulatinamente las relaciones sociales y culturales, tanto individuales como colectivos, a partir del surgimiento de la globalización en la década de los 1990. Con la llegada de este nuevo proceso de transformación socioambiental, el acto de consumo de alimentos ha evolucionado de manera acelerada, y ya no se limita a asegurar lo básico para la subsistencia, como la caza de animales o la búsqueda de agua limpia. Al contrario, en la actualidad, la disponibilidad y el acceso a los alimentos dependen en gran medida de redes agroalimentarios transnacionales, donde las relaciones sociales y económicas se estructuran bajo los preceptos del capitalismo. Esto ha implicado que la organización social para asegurar el suministro de alimentos está mediada por transacciones comerciales y flujos de bienes, regulados y guiados por el mercado global (Izurieta-Guevara, 2022).

En México, la última Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH; INEGI, 2020), refleja la importancia del consumo en términos económicos. Según la encuesta, que incluye áreas rurales y urbanas, el gasto principal de las familias mexicanas se destina a alimentos, bebidas y tabaco, representando el 38% del gasto trimestral, mientras que el sector salud ocupa uno de los porcentajes más bajos, con sólo un 4.2% (Varela-Martínez, 2019). Además, este gasto alimentario suele orientarse hacia productos poco nutritivos, lo que explica que México ocupe el primer lugar mundial en obesidad infantil y el segundo en obesidad adulta, así como una alta prevalencia de enfermedades como diabetes mellitus, hipertensión, problemas cardíacos y altos niveles de colesterol en la sangre (Hiperlepidemia) (Popkin et al., 2001). Además, se destaca la posición de la diabetes mellitus como una de las principales causas de mortalidad en el país (Islas-García y Sánchez-Plascencia, 2013).

Lo anterior se vincula al fenómeno identificado como “transición nutricional”, la que se considera como un proceso caracterizado por el cambio de dietas que transita de consumos de alimentos en su mayoría sanos de las dietas tradicionales hacia dietas basadas en alimentos procesados y ultra procesados (Rivera et al., 2004). Esta transformación dietética ha experimentado un desarrollo considerable en México durante las últimas décadas, como lo demuestran los estudios comparativos de Rivera et al. (2002) y los hallazgos más recientes de Barquera y Rivera (2020), entre otros.

Relacionada con el fenómeno de la transición nutricional es la noción de los “entornos alimentarios”. Con este término se refiere al conjunto de diferentes factores de tipo físico, económico, político y sociocultural que influyen en la disponibilidad, accesibilidad y calidad de los alimentos en un lugar determinado (Jensen et al., 2025; Downs et al., 2020). Parte de la idea que el consumo no solamente

depende de las preferencias de las personas, sino también la disponibilidad de alimentos y la infraestructura comercial asociada en determinados contextos.

Queda claro que existe una relación directa entre la transición nutricional y los entornos alimentarios, ya que estos últimos influyen directamente en nuestras decisiones de consumo, determinadas por las condiciones de disponibilidad alimentaria que nos rodean. En este sentido, en nuestro país y principalmente en las zonas urbanas, el paisaje alimentario ha mutado radicalmente de un mercado tradicionalmente variado a una oferta saturada de productos con altos contenidos de azúcares, grasas, sodio y aditivos artificiales (Jensen, 2025). La dinámica del consumo de alimentos ha transitado de productos regionales con un entorno local y regional que vincula sus prácticas de consumo a tiendas de conveniencia, entre las que destacan los establecimientos OXXO de FEMSA, que representan el crecimiento comercial más notable en México y posiblemente a nivel global (Vargas-Meza et al., 2024).

Este cambio en la oferta de alimentos en los espacios locales y regionales no solo refleja una transformación en los puntos de venta, sino también induce una modificación en los hábitos de consumo. Ambos procesos de transformación social se refuerzan cuando se observa que las tiendas de conveniencia han adoptado una estrategia basada en la facilidad y la rapidez de compra, albergando productos que no priorizan la salud del consumidor, sino que responden a las tendencias de consumo impulsadas por el ritmo acelerado de la vida urbana. En otras palabras, se transforma la transición nutricional y los entornos alimentarios.

De esta manera, estas tiendas influyen en la decisión de compra al promover productos que son fáciles de consumir, aunque no son saludables, así creando un entorno alimentario que impacta de manera negativa en la salud de la población, generando el gran número de

enfermedades que ya se mencionó (Méndez-Gutiérrez, 2006).

Las tiendas de conveniencia son establecimientos de venta al por menor con un tamaño entre 150 y 500m<sup>2</sup>, caracterizados por su apertura continua (24 horas al día). Su diseño está optimizado para adaptarse a las características del entorno urbano, donde los consumidores, generalmente con poco tiempo, buscan una opción rápida y accesible. Estas tiendas están ubicadas en zonas de alta circulación peatonal o vehicular, lo que facilita el acceso a productos esenciales sin necesidad de desplazamientos largos. Además, facilitan la adquisición de artículos de consumo masivo, es decir, productos procesados y ultra-procesados, como bebidas azucaradas (jugos y néctares, bebidas saborizadas, refrescos, leche saborizada, café preparado, bebidas energizantes), bebidas alcohólicas (cerveza, bebidas preparadas, licores), botanas saladas (papas, cacahuates, garbanzos), tabaco, confitería (dulces, chocolates, gelatinas, helados), panadería (pan dulce, galletas dulces) y cereales (cereales caja, barras, sopas instantáneas). Por otra parte, estas tiendas ofrecen soluciones prácticas, como alimentos preparados, servicios de cajeros automáticos, pagos de servicios variados, venta de boletos de juegos de azar y revistas de entretenimiento (Bedoya y Jaramillo-López, 2013; OXXO, 2024; Vargas-Meza et al., 2024).

Tomando en cuenta lo anterior, el crecimiento de las tiendas de conveniencia, como las tiendas OXXO han tenido un impacto considerable en varias localidades del país, creando entornos alimentarios perjudiciales para la salud humana por la influencia que tienen en la transición nutricional.

En el municipio de Autlán de Navarro en la región política-administrativa Sierra de Amuls, en el suroeste del estado de Jalisco, nuestra área de interés en este artículo, la expansión de estos establecimientos ha sido acelerada. Entre 2018 y 2019, por ejemplo, se autorizaron 15 permi-

sos para tiendas de conveniencia, de las cuales tres corresponden a tiendas OXXO (Vargas, 2020). Hoy en día, en Autlán de Navarro existen 13 tiendas OXXO.

Ante este contexto, el objetivo de la investigación, cuyos resultados presentamos en este artículo, es analizar algunos impactos de las tiendas OXXO en los patrones de consumo de alimentos ultra-procesados en la cabecera municipal de Autlán de Navarro.

El impacto de las tiendas OXXO en el municipio de Autlán de Navarro puede interpretarse como un fenómeno de origen multifactorial que se manifiestan en las condiciones contextuales de la creación de un entorno alimentario y la transición nutricional asociada. En primer lugar, la ubicación de las tiendas OXXO desempeña influencia al mostrar localizarse estratégicamente cerca de centros de actividades deportivas, educativas, o en espacios públicos o áreas de esparcimiento. Esta cercanía no solo facilita el acceso a servicios esenciales, sino que también establece un nexo entre las actividades cotidianas de los consumidores y su capacidad para adquirir productos de consumo. En segundo lugar, el tipo de clientes que frecuentan estas tiendas está determinado por factores clave como la preferencia de tiendas, la preferencia de productos y diversos elementos sociodemográficos. Las características de la clientela, como la edad, el nivel educativo y la ocupación, influyen en qué productos se eligen y cómo se perciben las tiendas OXXO. Finalmente, hay que considerar los factores que influyen en el consumo, los cuales podemos segmentar en dos tipos: personales y externos. Los factores personales abarcan aspectos del estilo de vida, edad, educación y ocupación. Estos elementos informan sobre las decisiones de compra individuales y grupales, así como sobre la formación de preferencias en torno a ciertos productos. Por otro lado, los factores externos incluyen experiencias previas, y aspectos como el precio, la calidad y la disponibilidad de los productos ofrecidos. La interacción

con grupos sociales y el contexto más amplio en el que se encuentran las tiendas generan dinámicas donde se involucra el consumo de los productos de las tiendas OXXO (Vargas-Meza et al., 2024).

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Nuestro estudio sobre las tiendas de conveniencia OXXO y su relación con los patrones de consumo se realizó en la cabecera del municipio de Autlán de Navarro en la región político-administrativa Sierra de Amula en el suroeste del estado de Jalisco (Figura 1). En este estudio, se buscó identificar y caracterizar las tiendas OXXO en la cabecera del municipio de Autlán, caracterizar a los clientes y definir sus patrones de consumo en los OXXO's de la cabecera del municipio de Autlán, y analizar los factores que influyen en los patrones de consumo de los clientes en la cabecera del municipio de Autlán.

El municipio de Autlán de Navarro está ubicado en la región Sierra de Amula en el estado de Jalisco (Figura 1). En el censo de 2020, su población total ascendía a 64,931 habitantes, de los cuales 59,681 residen en la cabecera municipal (Gobierno Municipal Autlán, 2021).

**Figura 1. Mapa de ubicación de Autlán de Navarro**



Fuente: Aparicio-González et al., 2019.

Según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI, para mayo de 2022, bn Autlán de Navarro contaba con 3,505 unidades económicas, de las cuales el 46.31% estaban dedicadas al sector servicios y el 40.83% al comercio; tan sólo el 9.56% pertenecía a industrias manufactureras; y el porcentaje restante a actividades legislativas (1.65%), construcción (0.54%), información en medios masivos (0.46%), transportes, correos y almacenamiento (0.40%), agricultura, ganaderías, forestal, pesca y caza (0.9%) y el sobrante a la generación transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas.

Los censos económicos de 2019, registraron que, en el municipio de Autlán de Navarro, en el segundo lugar de

generación de valor agregado censal bruto, los tres subsectores más importantes fueron “Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco”, “Industria alimentaria” y “Comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco”, que en conjunto suman el 19.8% del total del valor agregado censal bruto registrado en 2019 en el municipio (IIEG, 2022).

Finalmente, en 2020 Autlán de Navarro registró un grado muy bajo de marginación, situándose en la posición 109 en este aspecto (INEGI, 2018). En cuanto a la pobreza multidimensional, el municipio ocupó el puesto 107, con el 28.4% de su población en pobreza moderada y el 3% en pobreza extrema (IIEG, 2022).

## MÉTODOLOGÍA

La metodología que se aplicó en el presente estudio se basó en la metodología aplicada en el estudio sobre las tiendas OXXO en la Ciudad de México de Vargas-Meza et al. (2024), adaptándola a las condiciones particulares del área de estudio, siendo la cabecera del municipio de Autlán de Navarro. El periodo de trabajo de campo se llevó a cabo entre los días 8 y 10 de noviembre del 2024 en cuatro tiendas OXXO, representativas para todos los establecimientos OXXO en la cabecera. A continuación, se describen los pasos que se siguieron en la metodología.

### **Reconocimiento del tema**

Se realizó una revisión a profundidad del documento de Vargas-Meza et al. (2024) y otras publicaciones relevantes para el tema eje de este texto, para tener una guía sobre los aspectos a analizar y todo lo que se debía tomar en cuenta. Además, se consultó con una informante clave, una asesora de tienda en la cadena OXXO, sobre los horarios de mayor concurrencia en las tiendas OXXO.

### **Caracterización de las tiendas OXXO**

Se realizó una identificación de las direcciones y ubicaciones de tiendas OXXO, utilizando la herramienta Google Earth. Este proceso consistió en examinar el mapa y visualizar cada una de las ubicaciones de las tiendas en las áreas correspondientes. Después, se realizó una lista con su dirección y características. Posteriormente, se realizó un recorrido por las tiendas OXXO de la cabecera de Autlán de Navarro y se recolectó información mediante una ficha

técnica de las características más relevantes de su ubicación. Las características más relevantes que se tomaron en cuenta son: proximidad de instituciones educativas, fraccionamientos, tiendas de abarrotes, plazas públicas, espacios deportivos, bares, hospitales, proximidad a carreteras, hoteles, gasolineras y tiendas de venta de productos diversos no alimenticios. Esto se hizo con el fin de tener información sobre el contexto socio-espacial de los diferentes establecimientos OXXO, los cuales fueron identificados con base en la coincidencia de sus variables y posteriormente se agruparon en diferentes tipos.

Esta clasificación fue realizada con base en las categorías del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) de México. Para este estudio las actividades económicas identificadas fueron las terciarias. Se adaptaron algunos elementos que se adecuaron a los objetivos de este estudio. Las modificaciones se hicieron con el propósito de contar con la identificación de la ubicación de las tiendas OXXO y el impacto a diferentes grupos sociales, sin alterar los principios de agrupación de SCIAN-México. Esta metodología permitió identificar patrones de consumo de la población y evaluar el impacto de las tiendas OXXO en los hábitos alimenticios de cada zona, facilitando la reducción de una gran cantidad de variables individuales.

También, se consultó la zonificación y el uso del suelo para el municipio de Autlán de Navarro, la cual está clasificada en las siguientes categorías: zonas de aprovechamiento de recursos naturales, zonas habitacionales, zonas de usos mixtos, zonas comerciales y de servicios, y zonas industriales (Gobierno Municipal de Autlán, 2000).

## Encuesta para caracterizar clientes de las tiendas OXXO y factores de consumo

Se realizó una encuesta a 39 personas visitantes de las tiendas Oxxo entre los horarios de 9 a 11 a.m. y de 4 a 8 p.m. por un lapso de 30 minutos, para observar la entrada de clientes y aplicarla. Se escogieron estos horarios, debido a un mayor movimiento de personas en las tiendas OXXO (Com. pers. actor clave). Los temas que se abordaron en la encuesta fueron los siguientes:

**Datos sociodemográficos:** Para establecer una relación en el análisis de datos, se les solicitó a los usuarios de la tienda OXXO su nombre, género, ocupación, si su lugar de residencia estaba a menos de 30 min de un establecimiento OXXO, edad (clasificada de acuerdo con los grupos etarios del INEGI y la metodología de segmentación utilizada en estudios sobre consumo de carne en Argentina), y su último grado de estudios (Cáffaro-Tommasiello et al., 2018; INEGI, 2020).

**Datos de consumo:** Se les preguntó cuánto gastan, con qué frecuencia compran, qué productos adquieren, si aceptan las promociones, si suelen comprar artículos no planificados antes de entrar, y qué productos de la canasta básica adquieren en el establecimiento. Además, se indagó sobre sus motivaciones para comprar en las tiendas OXXO, qué productos prefieren adquirir en tiendas de abarrotes y cuáles productos disponibles en los establecimientos OXXO no suelen encontrarse en estas tiendas.

**Datos de conocimiento alimenticio:** Se les pidió que indicarán si su consumo en las tiendas OXXO influye en sus hábitos alimenticios, si consideran que los productos disponibles son nutritivos, y en qué medida creen que estos productos pueden afectar su salud.

## Integración e interpretación de datos

Se revisaron las encuestas y se compiló todo en una base de datos donde se procesó y posteriormente analizó la información reunida.

Cabe destacar que, debido al tamaño de la muestra, el presente estudio debe considerarse de carácter exploratorio. Si bien permite ofrecer una primera aproximación a algunos de los impactos de los establecimientos Oxxo en Autlán de Navarro, no es posible generalizar sus resultados.

## RESULTADOS

Se identificaron 13 tiendas OXXO en la cabecera del municipio Autlán de Navarro mediante la imagen satelital sacada de Google Earth (Figura 2).

A partir de recorridos a pie por las zonas adyacentes a los establecimientos OXXO se identificaron 14 variables que permiten distinguir diferentes tipos de OXXO's que ya se mencionaron en la sección de la metodología.

Con la caracterización de las tiendas a partir de estas variables se construyeron cuatro tipos de tiendas OXXO que denominamos como: "*los de paso*", "*los de espacios públicos*", "*los residenciales*", y "*los de zonas comerciales*" (Tablas 1 y 2). Tanto cualitativa como cualitativamente, lo más reconocible en las tiendas "OXXO de paso" es que se encuentran cercanos a carreteras y a un lado de gasolineras; los establecimientos "OXXO de espacios públicos" se encuentran cercanos a sitios deportivos, templos, jardines, instituciones educativas y venta de servicios; las tiendas "OXXO residenciales" están adyacentes a un fraccionamiento o colonia; y los establecimientos "OXXO de zonas comerciales" se ubican a un lado de establecimientos con venta de productos. La aplicación de encuestas se realizó en cuatro OXXO's, uno de cada grupo clasificado que se consideran los más representativos de dicho tipo de OXXO.

**Figura 2. Ubicación de las tiendas OXXO en la cabecera municipal de Autlán de Navarro, Jalisco**



Elaboración propia.

**Tabla 1. Caracterización cuantitativa de las variables que caracterizan los diferentes tipos de tiendas OXXO**

| Grupos de OXXO's                                  | Instituciones educativas | Fraccionamientos y colonias | Tiendas de abarrotes | Jardines | Espacios deportivos | Bares | Hospitales | Proximidad a carreteras | Templos | Venta de productos diversos no alimenticios | Oficinas de servicios | Mercados de abastos | Hoteles | Gasolinera | Número de variable por tienda OXXO |
|---------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|----------|---------------------|-------|------------|-------------------------|---------|---------------------------------------------|-----------------------|---------------------|---------|------------|------------------------------------|
| Tiendas de paso                                   |                          |                             |                      |          |                     |       |            |                         |         |                                             |                       |                     |         |            |                                    |
| 1                                                 |                          | 1                           |                      |          |                     |       |            | 1                       |         |                                             |                       |                     |         | 1          | 3                                  |
| 4                                                 |                          |                             | 1                    |          |                     | 1     |            |                         |         | 1                                           |                       |                     | 1       | 1          | 5                                  |
| 5                                                 | 1                        | 1                           |                      | 1        | 1                   | 1     | 1          |                         |         |                                             |                       |                     | 1       |            | 7                                  |
| 10                                                |                          |                             | 1                    |          | 1                   | 1     |            | 1                       |         | 1                                           |                       |                     |         | 1          | 6                                  |
| 12                                                |                          | 1                           |                      |          |                     |       |            | 1                       |         |                                             | 1                     |                     |         | 1          | 4                                  |
| Total de concidencia de tiendas OXXO por variable | 1                        | 3                           | 2                    | 1        | 2                   | 3     | 1          | 3                       |         | 2                                           | 1                     |                     | 2       | 4          | 25                                 |
| Tiendas de espacios públicos                      |                          |                             |                      |          |                     |       |            |                         |         |                                             |                       |                     |         |            |                                    |
| 2                                                 | 1                        | 1                           | 1                    |          | 1                   |       |            |                         |         |                                             | 1                     |                     |         |            | 5                                  |
| 3                                                 | 1                        | 1                           | 1                    | 1        |                     |       | 1          |                         | 1       | 1                                           |                       |                     |         |            | 7                                  |
| 7                                                 |                          |                             | 1                    | 1        |                     | 1     |            |                         | 1       | 1                                           | 1                     | 1                   | 1       |            | 8                                  |
| 9                                                 |                          | 1                           | 1                    | 1        | 1                   |       |            |                         | 1       | 1                                           |                       |                     |         |            | 6                                  |
| Total de concidencia de tiendas OXXO por variable | 2                        | 3                           | 4                    | 3        | 2                   | 1     | 1          |                         | 3       | 3                                           | 2                     | 1                   | 1       |            | 26                                 |
| Tiendas residenciales                             |                          |                             |                      |          |                     |       |            |                         |         |                                             |                       |                     |         |            |                                    |
| 8                                                 |                          | 1                           | 1                    |          |                     |       |            |                         |         | 1                                           |                       |                     |         |            | 3                                  |
| 11                                                |                          | 1                           | 1                    |          |                     |       |            |                         |         | 1                                           |                       |                     |         |            | 2                                  |
| 13                                                |                          | 1                           |                      |          |                     |       |            |                         |         |                                             |                       |                     |         |            | 1                                  |
| Total de concidencia de tiendas OXXO por variable |                          | 3                           | 2                    |          |                     |       |            |                         |         | 2                                           |                       |                     |         |            | 7                                  |
| Tienda zona comercial                             |                          |                             |                      |          |                     |       |            |                         |         |                                             |                       |                     |         |            |                                    |
| 6                                                 | 1                        | 1                           | 1                    |          |                     | 1     |            |                         | 1       | 1                                           |                       |                     |         |            | 6                                  |
| Total de concidencia de tiendas OXXO por variable | 1                        | 1                           | 1                    |          |                     | 1     |            |                         | 1       | 1                                           |                       |                     |         |            | 6                                  |

**Tabla 2. Descripción de diferentes tiendas OXXO**

| Tipo de tiendas OXXO                | Concepto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Número de Oxxo (Figura 2) |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Tiendas OXXO “de paso”              | Se encuentran en espacios cercanos a las carreteras, gasolineras, estación de autobuses y hoteles. Diseñadas para satisfacer necesidades inmediatas para quienes se desplazan de un lugar a otro, permitiéndoles adquirir alimentos, bebidas o productos necesarios.                                                                                                                                                       | 1,4,5,10,12               |
| Tiendas OXXO “de espacios públicos” | Lugares de un gran flujo de personas, como plazas públicas, espacios deportivos, jardines, centros educativos, mercados, hospitales, templos y lugares de prestación de servicios. Las tiendas en estas áreas brindan servicio tanto a personas que frecuentan estas áreas por actividades recreativas como a empleados, visitantes y personas que asisten a estas instituciones, aumentando la accesibilidad a productos. | 2,3,7,9                   |
| Tiendas OXXO “residenciales”        | Lugares de áreas habitacionales, como fraccionamientos y colonias, en los que la tienda puede satisfacer la demanda cotidiana de las personas que viven cerca, proveyéndoles productos básicos y convenientes sin que necesiten desplazarse lejos de sus hogares.                                                                                                                                                          | 8,11,13                   |
| Tiendas OXXO “en zona comercial”    | Espacios destinados a la venta de productos, que incluyen tiendas de abarrotes, bares, tiendas de ropa, accesorios. Estas zonas suelen tener un flujo constante de personas, lo cual favorece el consumo impulsivo y la accesibilidad de los productos.                                                                                                                                                                    | 6                         |

## Caracterización de los clientes y sus patrones de consumo en las tiendas OXXO

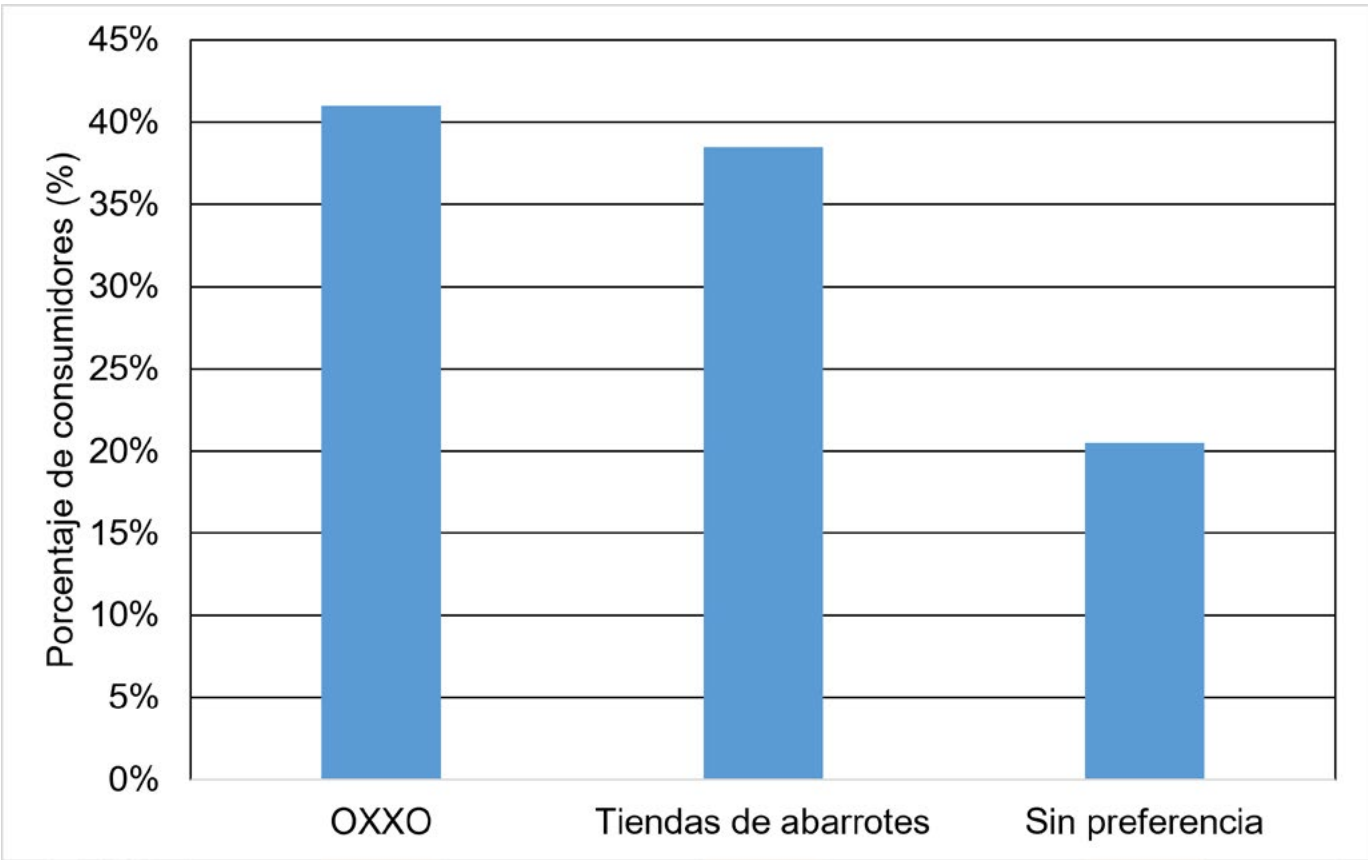
A partir del levantamiento de 39 encuestas realizadas en la cabecera municipal de Autlán de Navarro, se identificaron patrones significativos en las prácticas de consumo asociadas a las tiendas de conveniencia OXXO. Si bien es de carácter exploratorio, la muestra presenta una distribución que refleja diversos estratos socioeconómicos y grupos etarios, lo que permite una primera aproximación al fenómeno estudiado. A continuación, se presentan los resultados generales seguidos de un análisis detallado por tipo de establecimiento OXXO.

## Preferencias y patrones de consumo

Las prácticas de consumo reflejan una marcada estratificación socioeconómica. El análisis de los patrones de consumo revela una dicotomía significativa en las preferencias

de establecimiento. El 41.2% de los encuestados manifiesta una preferencia por las tiendas OXXO, mientras que el 38.4% se inclina por las tiendas de abarrotes tradicionales, y el 20.4% no expresa preferencia definida (Figura 3). Esta distribución sugiere una coexistencia competitiva entre los modelos de comercio tradicional y moderno.

Figura 3. Preferencia de tiendas para compras

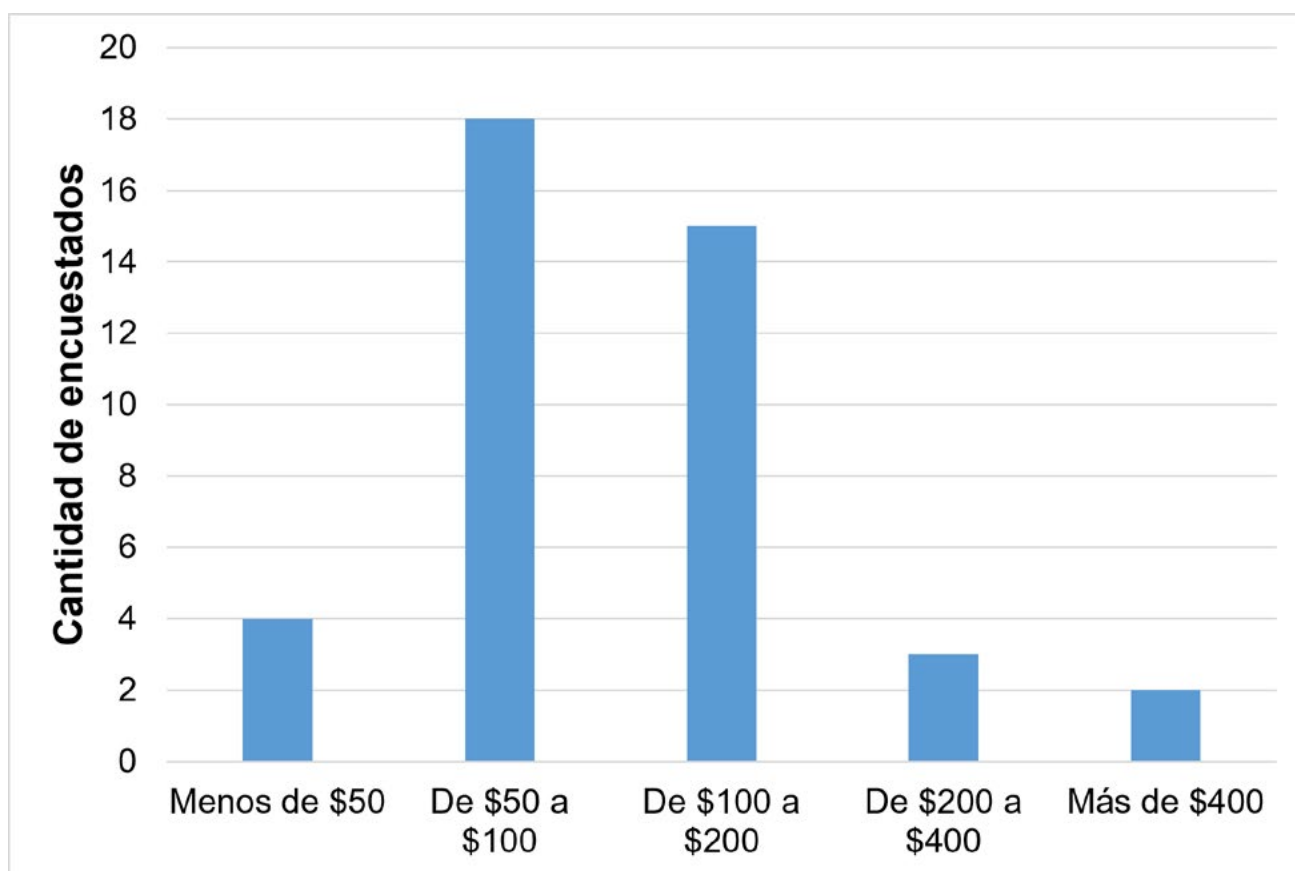


Con base en las encuestas aplicadas, se pueden identificar tres tipos de consumidores en tanto a su gasto económico. Primero, los consumidores de gasto alto (>\$200 por visita), quienes adquieren una mayor diversidad de productos en los establecimientos OXXO, tienden a utilizar servicios financieros y digitales, son menos sensibles al precio de los productos, y tienden a consumir por impulso. Segundo, están los consumidores de gasto medio (\$100-200), quienes compran tanto en las tiendas de OXXO como en las tiendas de abarrotes, tienen una mayor sensibilidad a promociones y un consumo más selectivo por

categorías. Tercero, están los consumidores de gasto bajo (<\$100), quienes tienen una preferencia marcada por tiendas de abarrotes, hacen compras específicas y planificadas en las tiendas OXXO, y tienen una alta sensibilidad al precio de los productos (Figura 4).

En tanto a la edad de los consumidores de las tiendas OXXO, encontramos diferencias entre personas de distintas edades, siendo los jóvenes quienes tienden a tener un mayor consumo de bebidas azucaradas y botanas en estas tiendas. A su vez, los adultos jóvenes y adultos (29-44 años) tienen una mayor preferencia por tiendas de abarrotes para

**Figura 4. Gasto promedio por visita a tiendas OXXO**



productos de limpieza y alimentos básicos. Por otra parte, los adultos mayores (44 o más años) son los que menor consumo general tienen en los establecimientos OXXO.

La segmentación demográfica de los encuestados revela patrones de consumo diferenciados que se correlacionan con variables etarias y socioeconómicas. Se observa que los consumidores jóvenes (18-25 años) presentan una mayor propensión al consumo de productos de conveniencia e impulso, con una marcada preferencia por bebidas azucaradas y botanas adquiridas en las tiendas OXXO. Este segmento también manifiesta una mayor frecuencia de visitas al establecimiento, aunque con tickets de compra promedio menores.

En contraste, el segmento de adultos (26-35 años) exhibe un patrón de consumo más diversificado, alternando entre establecimientos según la categoría de producto, con una tendencia a realizar compras de mayor valor en tiendas de abarrotes para productos básicos y de limpieza.

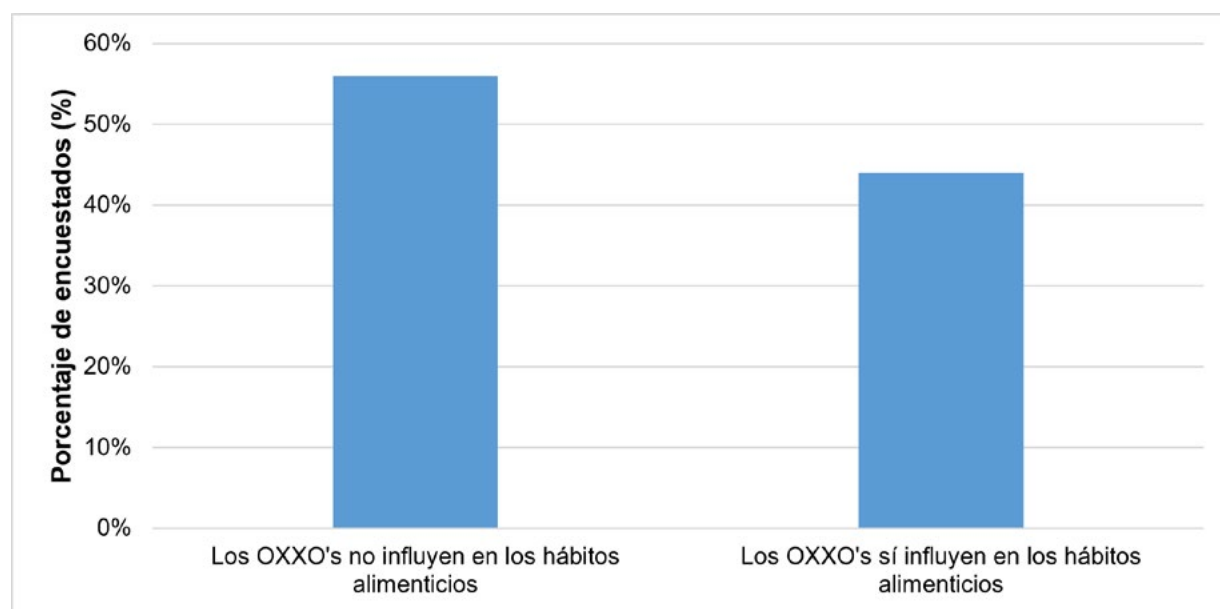
El segmento de adultos mayores (36+) muestra el menor índice de frecuentación a tiendas OXXO y una preferencia más marcada por el comercio tradicional.

## Patrones de consumo

El análisis de hábitos alimenticios revela que el 56% de los encuestados no considera que la presencia de un establecimiento OXXO influya en sus patrones de consumo alimentario, mientras que el 44% sí reconoce esta influencia (Figura 5). Sin embargo, al contrastar estos datos con los patrones de compra efectivos, se observa una correlación significativa entre la frecuencia de visitas a OXXO y el consumo de productos de alto contenido calórico y bajo valor nutricional.

Respecto a la conciencia sobre el impacto nutricional, se

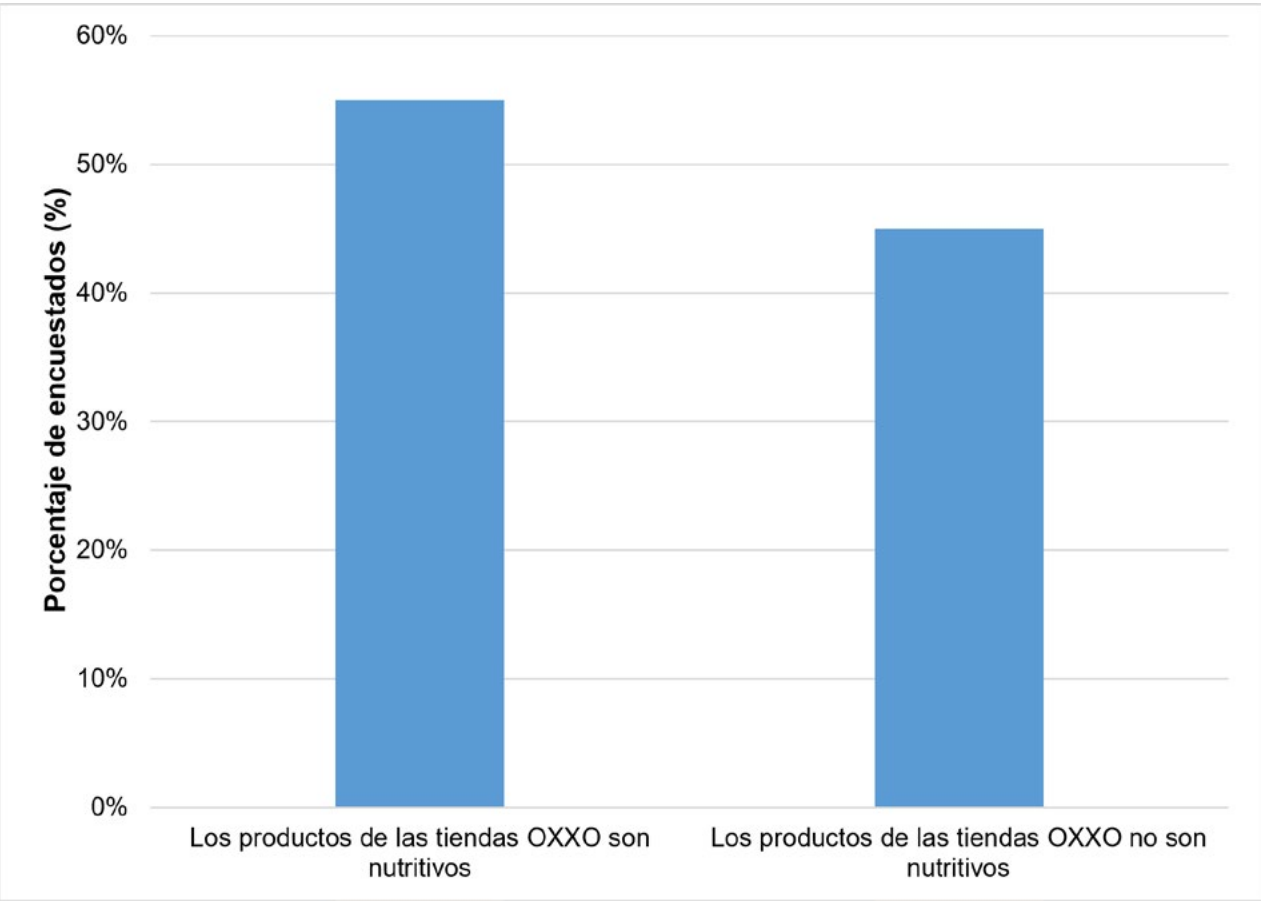
**Figura 5. Percepción de influencia de las tiendas OXXO en patrones de consumo**



refleja una división significativa en la percepción de los consumidores. El 55 % de los participantes respondió que sí, mientras que el 45 % opinó que no (Figura 6). Esta diferencia de opiniones puede deberse a varios factores. Una posible explicación es que algunas personas basan su respuesta en la diversidad de productos que ofrece la tienda, ya que, si bien las tiendas OXXO venden una gran can-

tidad de alimentos ultraprocesados y bebidas azucaradas, también comercializa ciertos productos de la canasta básica. Por ello, la percepción de “productos nutritivos” puede variar según la experiencia y los hábitos de cada consumidor, así como por el tipo de productos que cada persona suele adquirir en estos establecimientos.

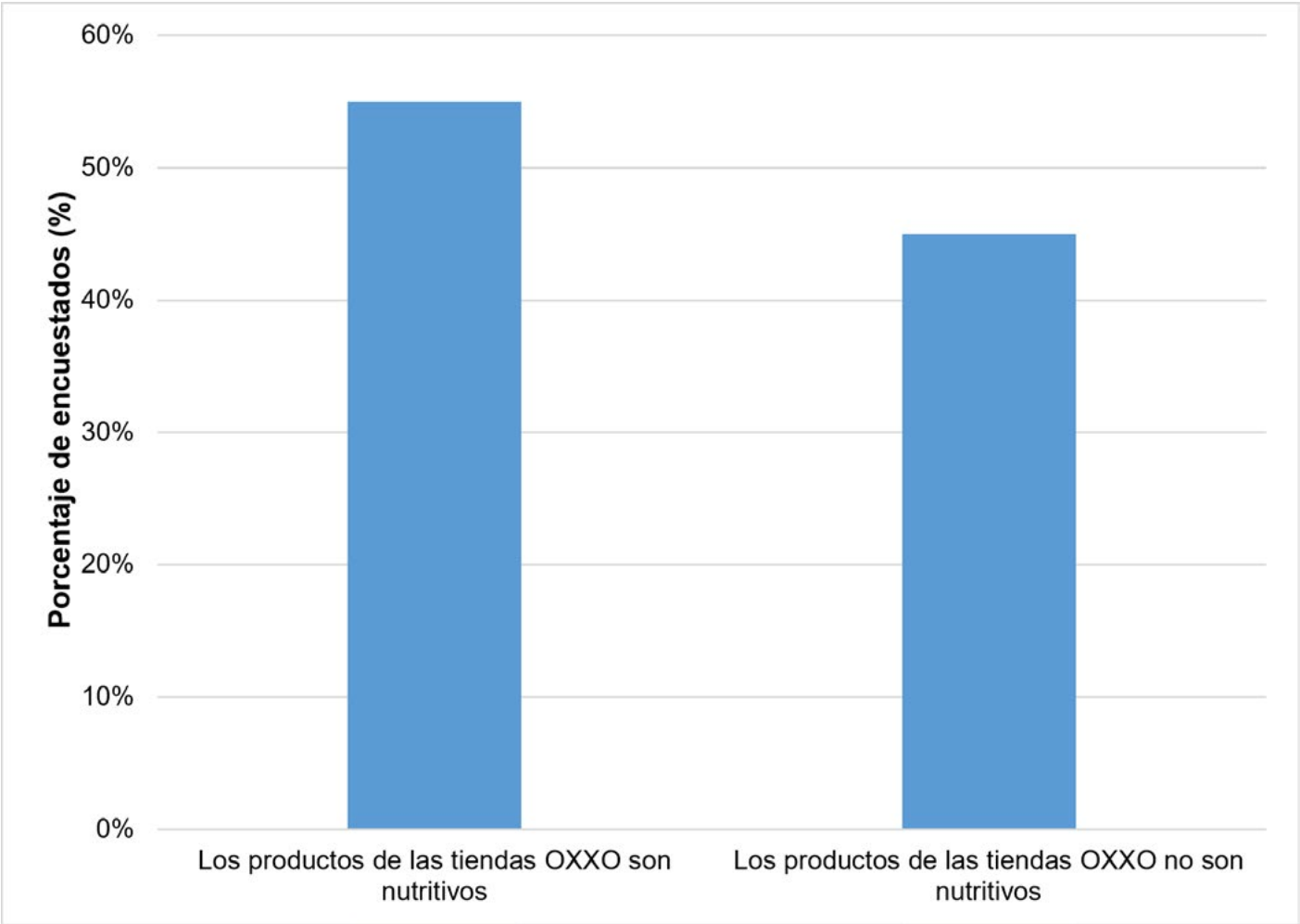
**Figura 6. Percepción sobre el impacto nutritivo de los productos de las tiendas OXXO sobre la salud**



Los datos muestran que el 77% de las personas encuestadas reconoce que los productos procesados y ultra-procesados que vende los establecimientos OXXO afectan negativamente la salud, ya sea “algo” (48%) o “mucho” (29%), ver Figura 7. Esto refleja una conciencia creciente

sobre los riesgos asociados a su consumo diario. En contraste, el 23% considera que estos productos dañan la salud “poco” o “nada”, lo que podría deberse a la normalización de su consumo, falta de información nutricional o una percepción basada en su uso ocasional.

Figura 7. Percepción sobre el impacto de productos de las tiendas OXXO sobre la salud



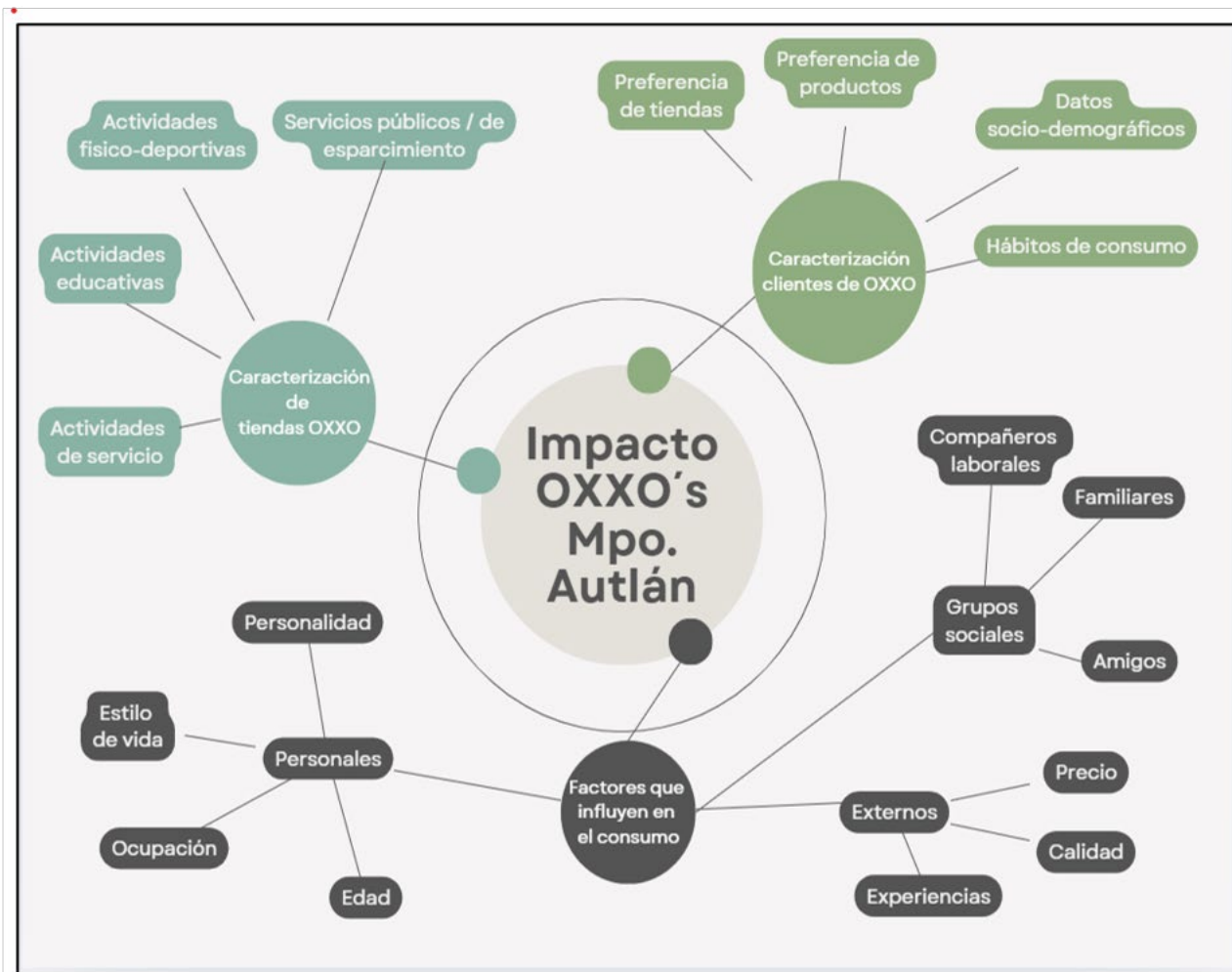
## DISCUSIÓN

En este artículo, se giró la atención a los impactos de las tiendas de conveniencia en los entornos alimentarios y las transiciones nutricionales, ejemplando estos impactos con un estudio de caso en la cabecera del municipio de Autlán de Navarro.

Los impactos que se describieron en las secciones anteriores de las tiendas OXXO en el municipio de Autlán de Navarro se pueden interpretar como un fenómeno de origen multifactorial que configura y reconfigura las condiciones contextuales de los mismos, es decir, el entorno alimentario (Figura 8). En primer lugar, la localización de los establecimientos OXXO desempeña influencia al mostrar localizarse estratégicamente cerca de centros de actividades deportivas, educativas, así como en espacios públicos o áreas de esparcimiento. Esta cercanía no solo facilita el acceso a servicios esenciales, sino que también establece un nexo entre las actividades cotidianas de los consumidores y su capacidad para adquirir productos de consumo. En segundo lugar, el tipo de clientes que frecuentan estas tiendas está determinado por componentes clave como la preferencia de tiendas, la preferencia de productos y diversos elementos sociodemográficos. Las características de la clientela, como la edad, el nivel educativo y la ocupación, influyen en qué productos se eligen y cómo se perciben las tiendas OXXO. En tercer lugar, hay que considerar los factores que influyen en el consumo, que se pueden segmentar en dos categorías: personales y externos. Los factores personales abarcan aspectos del estilo de vida, edad, educación y ocupación. Estos elementos informan sobre las decisiones de compra individuales y grupales, así como sobre la formación de preferencias en torno a ciertos productos. Por otro lado, los factores externos se relacionan con la influencia de experiencias previas, y aspectos como el precio, la calidad y la disponibilidad de los productos

ofrecidos. La interacción con grupos sociales y el contexto más amplio en el que se encuentran las tiendas generan dinámicas donde se involucra el consumo de los productos de los establecimientos OXXO. En otras palabras, influyen en los patrones de transición nutricional.

**Figura 8. Resumen esquemático de los resultados de este estudio**



De las secciones anteriores queda claro que los diferentes impactos de las tiendas OXXO en los patrones de consumo en Autlán de Navarro es evidente, con importantes implicaciones sociales y económicas. Su ubicación estratégica, como ya se mencionó, y que responde a la dinámica urbana y a las necesidades inmediatas de los consumidores, junto con su horario extendido, la diversificación de productos y la variedad de servicios ofrecidos, las convierte en puntos clave en la vida cotidiana de la población. Este

modelo de negocio, centrado en la conveniencia y accesibilidad, no solo refuerza la preferencia por las tiendas, sino que también promueve patrones de consumo dirigidos hacia productos ultraprocesados.

Sin embargo, se evidencia un interesante contraste entre los modelos comerciales tradicionales y modernos. Los resultados muestran que los establecimientos OXXO es la opción preferida por una proporción significativa de la población (41.03%), mientras que las tiendas tradiciona-

les mantienen una fuerte presencia, capturando el 38.46% de las preferencias. Este contraste destaca la forma en que ambos tipos de establecimientos satisfacen las necesidades de distintos segmentos de clientes. Esto, a su vez, se explica por ser Autlán de Navarro una ciudad mediana (Aparicio, et al., 2019).

En tanto al aspecto sociodemográfico, los datos muestran que las mujeres suelen ser las principales consumidoras en zonas residenciales y de espacios públicos, mientras que los hombres predominan en las tiendas OXXO de paso. Estas diferencias reflejan la manera en que el entorno y la actividad diaria influyen en los hábitos de compra. Sin embargo, el patrón común es que los consumidores, independientemente de su perfil, priorizan la proximidad y la rapidez en las compras, lo cual refuerza la preferencia por estos establecimientos en detrimento de las tiendas tradicionales.

Los patrones de consumo también revelan una segmentación clara, determinada por factores socioeconómicos. Los consumidores que compran con mayor frecuencia en las tiendas OXXO tienden a tener un alto poder adquisitivo, mostrando menor sensibilidad al precio, mayor diversificación en sus compras y una preferencia por productos impulsivos y de alto contenido calórico. En contraste, aquellos que optan por tiendas tradicionales, atraídos por sus precios accesibles y productos básicos, son los que menos gastan en los establecimientos OXXO. Esta dinámica resalta la manera en que las condiciones económicas influyen directamente en las decisiones de compra.

Un hallazgo importante es la disonancia entre la conciencia que los consumidores tienen sobre los posibles efectos negativos de los productos de las tiendas OXXO en la salud y sus hábitos de consumo continuos. A pesar de que una parte significativa de los encuestados no percibe los productos de los establecimientos OXXO como dañinos, una proporción aún mayor reconoce sus efectos adversos

para la salud. No obstante, muchos consumidores siguen visitando las tiendas, más motivados por la comodidad y la cercanía que por preocupaciones relacionadas con la salud. Este comportamiento sugiere que, aunque los riesgos para la salud son reconocidos, no influyen de manera determinante en sus decisiones de compra.

Finalmente, aunque existen diferencias en los tipos de tienda OXXO y los perfiles de sus clientes, los patrones de consumo son similares, destacando el consumo frecuente de alimentos procesados y ultraprocesados. El tipo OXXO de paso atiende principalmente a hombres laboralmente activos, adaptándose a sus necesidades de movilidad y trabajo. La tienda OXXO comercial, ubicado estratégicamente en zonas de alta conveniencia, es preferido por consumidores que priorizan comodidad y accesibilidad. Por su parte, las tiendas OXXO en zonas públicas combina rapidez y multifuncionalidad, atrayendo a clientes con poco tiempo que resuelven varias necesidades en un solo lugar. Finalmente, la tienda OXXO residencial actúa como un híbrido entre tienda de conveniencia y abarrotería tradicional, cubriendo demandas locales y fomentando la socialización comunitaria.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Este estudio ofreció una primera visión de algunos impactos de las cadenas comerciales en las dinámicas de consumo a nivel local, en este caso en una ciudad mediana, destacando la importancia de una gestión equilibrada que considere la accesibilidad, la salud y la sostenibilidad económica. De manera particular, la investigación proporcionó una primera imagen de algunos impactos de las tiendas OXXO en los patrones de consumo en Autlán de Nava-

ro. La expansión de estas tiendas no solo está modificando las preferencias de los consumidores, sino que también impulsa una transición hacia el consumo de alimentos ultraprocesados, centrados en la conveniencia. Este cambio podría tener repercusiones negativas en la salud pública, especialmente al considerar las altas tasas de obesidad, diabetes y enfermedades crónicas en México.

Para contrarrestar esta situación y disminuir los efectos negativos de los alimentos procesados y ultraprocesados, es fundamental promover campañas de educación nutricional y fomentar el consumo responsable de alimentos para reducir el impacto de estos en la salud pública. Esto contribuirá a equilibrar la oferta de productos en tiendas de conveniencia y tiendas tradicionales, promoviendo un consumo más consciente y saludable. En otras palabras, permitiría redirigir los actuales procesos de transición nutricional.

Las tiendas OXXO se adaptan a las características específicas de su entorno, diferenciándose según su ubicación en espacios públicos, zonas comerciales, residenciales o de paso. Aunque cada tipo de tienda atrae a una clientela distinta con patrones de consumo particulares, todas comparten un punto en común: la adquisición de alimentos procesados o ultraprocesados sigue siendo una constante en las visitas de los consumidores.

Las tiendas de abarrotes tradicionales enfrentan dificultades para competir con las cadenas comerciales, a pesar de ser preferidas para ciertos productos básicos. Esto subraya la importancia de estrategias que promuevan la sostenibilidad y el apoyo a la economía local. En otras palabras, permitiría la reconfiguración de los entornos alimentarios creados por las tiendas de conveniencia como las tiendas Oxxo.

Finalmente, queda claro de lo anterior también que es necesario promover políticas públicas que regulen la expansión de tiendas de conveniencia en zonas específicas,

lo que podría contribuir a mitigar los impactos negativos observados en la economía local y los patrones de consumo (Gerritsen, 2021).

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio-González, E., Gerritsen, P. R. W., Borges, I., Campos-López, M., Carrillo-Aldape, Z., Castorena-Pérez, A., González-Pelayo, J., Hernández-Vargas, O., Iglesias-López, G., Rincón-Gutiérrez, A. y Rojas-Hernández, L. (2019). ¿De dónde vienen nuestros alimentos? Análisis de la seguridad alimentaria en el municipio de Autlán de Navarro, Estado de Jalisco, Occidente de México. *Agroalimentaria*, 25(48), 135-154.
- Barquera, S., y Rivera, J. A. (2020). Obesity in Mexico: rapid epidemiological transition and food industry interference in health policies. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 8(9), 746-747. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30269-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30269-2)
- Bedoya, C. A. y Jaramillo-López, A. F. (2013). Las tiendas de conveniencia, una nueva opción para los consumidores en la ciudad de Medellín. *Revista Facultad de Publicidad UPB Medellín*, 2(1). <http://hdl.handle.net/20.500.11912/7606>
- Cáffaro-Tommasiello, E. M., Latorre, M. E., Cepeda, R. E., Garitta, L., Sosa, M., y Purslow, P. P. (2018). Valoración de aspectos vinculados al consumo, calidad y seguridad de la carne, en consumidores argentinos de carne. *IDESIA*, 36(3), 45–52. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005001003>
- Downs, S. M., Ahmed, S., Fanzo, J., y Herforth, A. (2020). Food environment typology: Advancing an expanded definition, framework, and methodological approach for improved characterization of wild, cultivated and built food environments toward sustainable diets. *Foods*, 9(4), 532.
- Gerritsen, P.R.W. (Coord.). (2021). *¿De dónde vienen los alimentos lo que comemos?* Guadalajara: CU Costa Sur. Cuadernos Sociológicos del CU Costa Sur 5.
- Gobierno Municipal de Autlán. (2000). *Plan municipal de Desarrollo, Autlán de Navarro*. <http://www.orden-juridico.gob.mx/Estatal/JALISCO/Municipios/Autlan/AutPla01.pdf>
- Gobierno Municipal de Autlán. (2021). *Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza Autlán de Navarro 2021–2024*. <https://plan.jalisco.gob.mx/wp-content/uploads/2022/09/mapa/pdf2021/15.pdf>
- Harris, M. (1988). *Bueno para comer: Enigmas de alimentación y cultura* (2.a ed.). Plaza y Valdés. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=727899>
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2022). *Autlán de Navarro Diagnóstico del municipio*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/11/Autlán-de-Navarro.pdf>, consultado el 31/10/2024.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Marco Geoestadístico*. [https://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div\\_municipal/jalmpios.pdf](https://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/jalmpios.pdf), consultado el 30/10/2024.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2020*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enigh/nc/2020/doc/enigh2020\\_ns\\_presentacion\\_resultados.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enigh/nc/2020/doc/enigh2020_ns_presentacion_resultados.pdf), consultado el 30/10/2024.

- Islas-García, C., y Sánchez-Plascencia, M. A. (2013). *Consumo saludable: hacia nuevos hábitos de consumo*. Gobierno de México: México.
- Izurieta-Guevara, M. (2022). El consumo alimentario: abordaje teórico-crítico en la interfase economía, salud y ambiente. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, 11, 151-171. <https://doi.org/10.32719/25506641.2022.11.8>
- Jensen, M., G. Granfeldt, A.L. Gonzalez Alejo, A. Contreras Manzano y O. Castillo Ruiz (2025). Transformando entornos alimentarios, análisis comparativo de políticas públicas en México y Chile. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria* 2025; 45(4),\_ 475-479.
- Méndez-Gutierrez G. (2006). *Evaluación del área de fast food de la cadena OXXO a través del análisis del comportamiento del consumidor y el posicionamiento de la misma en base a un comparativo con su competencia directa 7 ELEVEN*. [Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Tlaquepaque, Jalisco, ITESO]. <https://hdl.handle.net/11117/11124>
- OXXO. (2024). OXXO. <https://www.oxxo.com/>, consultado el 31/10/2024
- Popkin, B. M., Horton, S., Kim, S., Mahal, A., y Shuigao, J. (2001). Trends in diet, nutritional status, and diet-related noncommunicable diseases in China and India: The Economic Costs of the Nutrition transition. *Nutrition Reviews*, 59(12), 379-390. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2001.tb06967.x>
- Rivera, J. A., Barquera, S., Campirano, F., Campos, I., Safdie, M., y Tovar, V. (2002). Epidemiological and nutritional transition in Mexico: rapid increase of non-communicable chronic diseases and obesity. *Public Health Nutrition*, 5(1A), 113-122. <https://doi.org/10.1079/PHN2001282>
- Rivera, J. A., Barquera, S., González-Cossío, T., Olaiz, G., y Sepúlveda, J. (2004). Nutrition Transition in Mexico and in Other Latin American Countries. *Nutrition Reviews*, 62(7), 149-157. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2004.tb00086.x>
- Sahlins, M., Fondevila, E. R., y Castro, E. M. (1987). *Economía de la Edad de Piedra* (3a ed.). Ediciones Akal.
- Varela-Martínez, G. (2019). *Análisis descriptivo del comportamiento de una muestra de consumidores de la ciudad de México durante el buen fin 2017*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000790305>
- Vargas-Meza J., García-Morales, A., Landaverde, A., Magaña-Carvajal, P., y Calvillo, A. (2024). **Radiografía OXXO: Productos que enferman tu vida**. El Poder del Consumidor. <https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2024/07/d-2407-radiografia-oxxo-final.pdf>
- Vargas, M. (22 de febrero de 2020). En dos años autorizaron 15 licencias para construir KIOSKOs y OXXOs en Autlán. *Letra Fría*. <https://letrafria.com/en-dos-anos-autorizaron-15-licencias-para-construir-kioskos-y-oxxos-en-autlan/>, consultado el 31/10/2024.



# Cambios socioeconómicos y productivos de la caprinocultura en dos municipios de Oaxaca, México (2018–2026)

Alfonso Pedro Santos Martínez<sup>1</sup>

**Resumen:** La caprinocultura es una actividad económica de gran importancia en las comunidades rurales. El objetivo fue analizar y describir los cambios socioeconómicos y productivos en la caprinocultura entre 2018 y 2026 en dos comunidades de la Sierra Sur de Oaxaca, México. Se utilizó el método etnográfico, con muestreo no probabilístico tipo bola de nieve. Se empleó la entrevista semiestructurada con un cuestionario con los siguientes apartados: social, productivo, económico, salud animal, importancia ambiental, problemas, importancia social y áreas de oportunidades. Los cambios observados fueron: disminución drástica en el número de productores, bajo relevo generacional, feminización acelerada, reducción considerable del pastoreo, así como el tamaño de los rebaños, aumento del precio del caprino, disminución de beneficios económicos en las familias, así como beneficios ecosistémicos, se requiere diseñar agroecosistemas funcionales e incluyentes con los caprinos y la tendencia de la caprinocultura es en riesgo.

**Palabras claves:** Animal doméstico; Desarrollo rural; Economía regional; Pequeños rumiantes; Producción.

**Abstract:** Goat farming is an economic activity of great importance in rural communities. The objective was to analyze and describe the socioeconomic and productive changes in goat farming between 2018 and 2026 in two communities in the Sierra Sur region of Oaxaca, Mexico. An ethnographic method was used, employing non-probabilistic snowball sampling. Semi-structured interviews were conducted using a questionnaire with the following sections: social, productive, economic, animal health, environmental importance, problems, social importance, and areas of opportunity. The changes observed were: a drastic decrease in the number of producers, low generational turnover, accelerated feminization, a considerable reduction in grazing as well as herd size, an increase in goat prices, a decrease in economic benefits for families as well as ecosystem benefits; there is a need to design functional and inclusive agroecosystems that incorporate goats, and the future of goat farming is at risk.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Correo electrónico: pedrosantostmz1995@gmail.com.

**Keywords:** *Domestic animal; Rural development; Regional economy; Small ruminants; Production.*

## INTRODUCCIÓN

La cabra fue el primer rumiante domesticado hace aproximadamente 10,000 años en la antigua Mesopotamia y se incorporó en la estructura social como un recurso para intercambio, comercialización, herencia, alimentación, producción de leche y subproductos (Salinas-González et al., 2015). Se introdujo en el Caribe por los españoles en el siglo XVI y es la especie doméstica de producción más distribuida en el mundo (Arechiga et al., 2008). De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2017), las primeras cabras se trajeron en América hace más de 400 años y se extendieron rápidamente en México como una actividad económica.

La caprinocultura representa una de las actividades económicas con mayor importancia en las zonas rurales y forma parte de los medios de vida que impulsa el desarrollo de las comunidades (Vélez y Flores, 2021). Generalmente la crianza de caprinos se desarrolla bajo propios sistemas de producción, en un modelo de economía familiar y campesina en el que participan todos los miembros de la familia como arraigo cultural (Pérez-Ramírez et al., 2020). La caprinocultura mejora la calidad de vida de los productores en lo económico, social y cultural, pero se ve afectada por la edad del productor, nivel de educación, costos de alimentación y mano de obra (García-Bonilla et al., 2018).

La crianza de cabra se posiciona como una actividad potencial en diversos ecosistemas en zonas áridas, pero afronta a la incertidumbre productiva por la restricción de áreas de pastoreo, cambio climático, desertificación, crisis en la economía campesina, migración del

campo a la ciudad, bajo relevo generacional, entre otros (Trenti-Verly et al., 2021).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023), en México existe aproximadamente 8,840,647 cabezas de caprinos. En los sistemas de producción caprina las cabras se utilizan para la producción de lácteos y cárnico (Ramos-Martínez et al., 2020). En México se registra que a partir del año 2007 empezó un decrecimiento en el inventario nacional de caprinos, consecuencia de desastres ecológicos, contaminación del suelo y agua, el crecimiento demográfico, entre otros (Alejandre-Ortiz et al., 2016). En Oaxaca, la ganadería caprina y la agricultura son las principales actividades productivas y de subsistencia en las comunidades indígenas (Mendoza, 2002; Ortiz-Morales et al., 2021). El objetivo del presente trabajo fue analizar y describir los cambios socioeconómicos y productivos en la caprinocultura entre 2018 y 2026 en dos comunidades de la Sierra Sur de Oaxaca, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se trabajó en dos comunidades aledañas pertenecientes al distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México (Figura 1). De acuerdo con el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI, 2010a) San Cristóbal Amatlán se ubica entre los paralelos 16°12' y 16°24' de latitud norte; los meridianos 96°18' y 96°28' de longitud oeste, con altitud entre 1,300 - 3,200 msnm, con clima semiseco semicálido.

San Francisco Logueche, se localiza entre los paralelos 16°19' y 16°26' de latitud norte; los meridianos 96°21' y 96°25' de longitud oeste, a una altitud entre

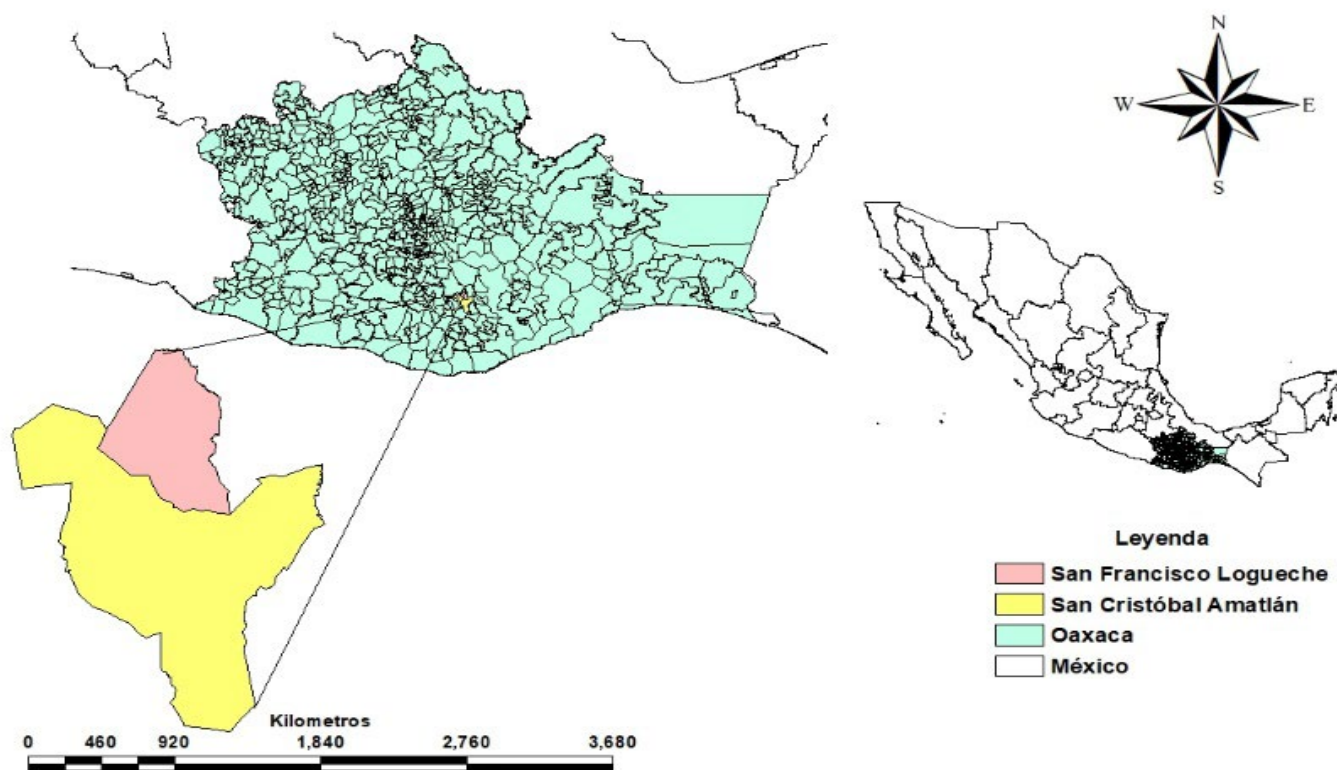
1,400 y 2,900 msnm, con clima semiseco semicálido (INEGI, 2010b).

## Método y selección de muestra

Se empleó el método etnográfico, se analizó la vida cotidiana en torno a la caprinocultura (Ortiz, 2015). Se tuvo

como criterio de inclusión quienes son productores de caprinos. Se empleó un muestreo no probabilístico tipo bola de nieve (Pasikowski, 2023). La investigación se desarrolló en dos periodos: enero–agosto 2018 y enero–marzo 2026. En San Cristóbal Amatlán (SC) en 2018 se entrevistó a 71 productores y en 2026 a 32. En San Francisco Logueche (SF) en 2018 se encontró a 41 productores y en 2026 con 19.

**Figura 1. Localización geográfica de San Cristóbal Amatlán y San Francisco Logueche**



Fuente: Elaborado con Base al Marco Geoestadístico Nacional 2022

Fuente: Elaborado con datos de INEGI (2022).

En 2018 como limitante fue la complejidad de localizar a los productores en los agostaderos, ya que, todos difieren en su horario de pastoreo, la ubicación distante entre las unidades de producción familiar (UPF) y la disponibilidad de tiempo al no contratar mano de obra. En 2026 se observó una diferencia considerable en la reducción de número de productores activos en ambas comunidades, motivo por el cual se registró un menor número de UPF.

Recopilación de información

Se empleó la entrevista semiestructurada con un cuestionario en el que se registraron datos en los siguientes componentes de las UPF: social, productivo, económico, ambiental, salud del rebaño, limitantes y áreas de oportunidades.

Análisis e interpretación de la información

La información obtenida *in situ* se cargó en una base de datos en *Excel-Office 2024*. Los datos se analizaron y se describieron acorde a los componentes de las unidades de producción con estadística descriptiva y comparativa.

RESULTADOS

A continuación de muestran los resultados obtenidos en las entrevistas en 2018 y 2026 en ambas comunidades (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cambios sociales en la caprinocultura en las comunidades de estudio

| Variables                                         | SC    |       | SF    |       |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                   | 2018  | 2026  | 2018  | 2026  |
| Edad de los productores (años)                    | 51±14 | 49±13 | 63±14 | 53±18 |
| Escolaridad de los productores (años)             | 5.6   | 4.8   | 4.5   | 5.1   |
| Propietarios masculinos %                         | 87.33 | 43.75 | 78.05 | 15.78 |
| Propietarios femeninos %                          | 12.67 | 56.25 | 21.95 | 84.22 |
| Desarrollo de actividades por padres de familia % | 73.23 | 15.62 | 73.17 | 21.05 |
| Desarrollo de actividades por madres de familia % | 14.08 | 75.01 | 14.63 | 63.25 |
| Participación de ambos (padres y madres) %        | 12.69 | 9.37  | 15.70 | 12.20 |
| Colaboración de los hijos %                       | 60.56 | 46.87 | 53.65 | 42.1  |
| Uso de tierra ejidal %                            | 79.84 | 84.51 | 86.45 | 75.90 |
| Uso de tierra comunal %                           | 19.16 | 15.49 | 13.5  | 24.1  |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

En cuanto al número de las UPF, para 2026 se observó una caída considerable en el número de productores de caprinos, en SC con 45.01% y SF un 46.34%. En los dos periodos, en ambas comunidades se registró que la caprinocultura es a cargo principalmente por personas adultas, con nivel de escolaridad básica.

En 2018 en ambas comunidades, los propietarios en su mayoría eran masculinos, sin embargo, en 2026 se registró una feminización acelerada con un incremento de 43.58 y 62.27%. Bajo este mismo contexto para 2026 las madres de familia mayormente se encargan de las actividades que implica la crianza de caprinos con un aumento de 57.61 y 52.12% (SC y SF) de participación superior a los padres. En 2026 se reflejó una tendencia moderadamente decreciente en la participación de ambos (padres y madres) con 3.32 y 3.5% en SC y SF, así también el invo-

lucramiento de los hijos con una disminución de 13.69 y 11.55% respectivamente.

Las estrategias de producción también cambiaron (Cuadro 2), en 2018 se registró el predominio total de la crianza bajo pastoreo en ambas comunidades, en cambio en 2026 en SC y SF se redujo un 78.13 y 73.69%, lo que dio lugar a la transición hacia el sistema estabulado en 18.75 y 31.57% (SC y SF), así como, el semiestabulado en 59.37 y 42.1% respectivamente.

Se registró una reducción importante en el tamaño de los rebaños en SC con 91.29% y SF con 85.89% en promedio. En cuanto al uso de tierra, en SC se notó un ligero aumento de 4.67% el uso de tierra ejidal, a comparación con la de uso comunal, mientras que en SF se disminuyó el uso de tierra comunal en 10.55% en contraste con la de uso ejidal.

**Cuadro 2. Variaciones en las estrategias de producción caprina en las comunidades de estudio**

| Variables / Año                         | SC     |       | SF     |       |
|-----------------------------------------|--------|-------|--------|-------|
|                                         | 2018   | 2026  | 2018   | 2026  |
| Producción en pastoreo %                | 100    | 21.87 | 100    | 26.31 |
| Producción estabulada %                 | 0      | 18.75 | 0      | 31.57 |
| Producción semiestabulada %             | 0      | 59.37 | 0      | 42.1  |
| Tamaño de los rebaños (núm. de cabezas) | 218±63 | 19±11 | 163±75 | 23±13 |
| Uso de tierra ejidal %                  | 79.84  | 84.51 | 86.45  | 75.90 |
| Uso de tierra comunal %                 | 19.16  | 15.49 | 13.5   | 24.1  |
| Producción como estrategia de ahorro %  | 46.47  | 62.5  | 34.14  | 47.36 |
| Producción como autoempleo %            | 53.52  | 15.62 | 65.85  | 15.78 |
| Producción para autoconsumo %           | 0      | 21.87 | 0      | 36.84 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

En 2026 se registró que la caprinocultura empezó a cobrar relevancia como fuente de ahorro, sin embargo, dejó ser una actividad que permite a los productores autoemplearse, a su vez, la tradición de la crianza de caprinos para el autoconsumo aún persiste por su importancia social y cultural.

La comercialización de los caprinos se realiza de diversa forma y los ingresos que se obtienen mayormente son para el beneficio familiar (Cuadro 3). En 2018 los excedentes en ambas comunidades se acaparaban por intermediarios quienes acudían hasta en las UPF, sin embargo, en 2026 se incrementó la importancia del mercado local (plaza o tianguis del pueblo) con 48.72 y 41.6% (SC y SF) respectivamente. En 2018 generalmente los caprinos se comercializaban en pie con edad mayor a un año y

el precio promedio asignado es por bulto, para 2026 continua la misma forma de venta, pero con un incremento de 600% en el precio en promedio.

Los caprinos son un recurso valioso en las UPF y en su totalidad utiliza el estiércol en la agricultura. Los ingresos económicos con la venta de los ejemplares también contribuyen en los gastos alimenticios de las familias, no obstante, con la disminución de la producción este concepto se ha reducido en 56.25 y 63.16% en SC y SF respectivamente. En SC el aporte a la solvencia de gastos escolares de los hijos se incrementó en 11.66%, por el contrario, en SF se disminuyó en 11.55%, comparado con datos de 2018. También se observa una disminución en la contribución en gastos de salud familiar en 4 y 2.57% (SC y SF) (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Comercialización y contribución económica de los caprinos en las UPF**

| Variables / Año                                            | SC     |          | SF     |          |
|------------------------------------------------------------|--------|----------|--------|----------|
|                                                            | 2018   | 2026     | 2018   | 2026     |
| Comercialización en el mercado local %                     | 16.91  | 65.63    | 26.82  | 68.42    |
| Comercialización con intermediarios %                      | 83.09  | 34.37    | 73.18  | 31.58    |
| Precio en pie o bulto (\$ peso mexicano)                   | 500.00 | 3,500.00 | 500.00 | 3,500.00 |
| Aportación a la producción agrícola %                      | 100    | 100      | 100    | 100      |
| Contribución en los gastos alimenticios %                  | 100    | 43.75    | 100    | 36.84    |
| Contribución en la solvencia de gastos escolares %         | 35.21  | 46.87    | 53.65  | 42.1     |
| Contribución en la solvencia de gastos de salud familiar % | 32.39  | 28.39    | 34.14  | 31.57    |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

En la crianza de los caprinos los productores identifican algunos servicios ecosistémicos, en ambas comunidades en 2018 los más perceptibles fueron los siguientes: el ramoneo disminuye riesgos de incendios forestales con menciones en 60.56 y 73.17%, la dispersión de semillas no digeribles ayuda la propagación de plantas silvestres en 21.12 y 4.87%. La totalidad de los productores aprovechaban el estiércol para sus cultivos de temporal,

para el cuidado del suelo, así como otros ecosistemas, a su vez coadyuva a ser independientes de los fertilizantes químicos. Para 2026, en SC y SF percibieron que, con el ramoneo los caprinos contribuyen a disminuir los incendios forestales en 18.75 y 57.89%, dispersión de semillas de plantas silvestres no digeribles con 6.25 y 5.26%, así como también, el uso del estiércol para los cultivos en 93.75 y 89.47% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Beneficios perceptibles en el ecosistema por los productores con la caprinocultura

| Variables                                      | SC    |       | SF    |       |
|------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                | 2018  | 2026  | 2018  | 2026  |
| Disminución de riesgo de incendio %            | 60.56 | 18.75 | 73.17 | 57.89 |
| Dispersión de semillas de plantas silvestres % | 21.12 | 6.25  | 4.87  | 5.26  |
| Estiércol para los cultivos %                  | 100   | 93.75 | 100   | 89.47 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

De las principales enfermedades que afectan a los rebaños de caprinos en primer lugar se indicaron los endoparásitos (nematodos) y ectoparásitos (piojos) y con menor incidencia las enfermedades oculares (conjuntivitis y queratoconjuntivitis).

En 2018 para el cuidado de la salud de los rebaños se recurría mayoritariamente a la medicina tradicional, el cual para 2026 se redujo su uso en 69.67 y 68.81% (SC y SF), así mismo, un bajo porcentaje de los casos que combinan la medicina tradicional con la moderna (Cuadro 5).

Cuadro 5. Salud caprina y su gestión en las UPF

| Variables                                    | SC    |       | SF    |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                              | 2018  | 2026  | 2018  | 2018  |
| Presencia de endoparásitos %                 | 97.19 | 84.37 | 97.57 | 98.47 |
| Presencia de ectoparásitos %                 | 97.19 | 84.37 | 97.57 | 98.47 |
| Presencia de enfermades oculares %           | 2.81  | 3.12  | 2.43  | 5.26  |
| Uso de la medicina tradicional %             | 91.54 | 21.87 | 95.12 | 26.31 |
| Uso de la medicina convencional %            | 7.04  | 93.75 | 7.31  | 89.47 |
| Uso de medicina tradicional y convencional % | 5.04  | 9.37  | 9.75  | 21.05 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

En 2018, en SC y SF se registraron las siguientes principales limitantes en la producción de caprinos en pastoreo (Cuadro 6): 1) la escasez de forraje en los agostaderos en el estiaje, 2) la disminución de agua en los abrevaderos y otras fuentes durante el estiaje, debido a la compartición de los agostaderos entre amistades de compañerismo y compadrazgo, para 2026 estos problemas dejaron de tomar importancia debido a la disminución del pastoreo. 3) En ambos periodos las dos comunidades señalaron la limitante de la baja producción de forraje de temporal (pastos de corte y silvestres) para reserva. 4) El desconocimiento sobre técnicas de conservación para complementar la alimentación de los caprinos en el estiaje, para 2026 esta preocupación se incrementó con 48.99 y 50.83%, ya que la producción estabulada y semiestabulada propicia

una mayor dependencia en almacenar forrajes para complementar la alimentación de los caprinos.

Ante dichas circunstancias, en 2026 los productores creen que ante los desafíos que enfrentan, la caprinocultura no podrá ser una opción como autoempleo. En 2026, en su totalidad de los productores que aún persisten en SC y SF, recalcaron la importancia de introducir diversas tecnologías para fortalecer la crianza como son: técnicas de conservación de forrajes (ensilaje, henolaje), estrategias de alimentación (alimento balanceado y sales minerales), programas de reproducción controlada, manejo sanitario contra endo y ectoparásitos, prevención de enfermedades infecciosas, entre otras.

Se recalca que, el problema con mayor afectación en la producción caprina en pastoreo en ambas comunidades

**Cuadro 6. Principales problemas y áreas de oportunidades de la caprinocultura**

| Variables                                                                                 | SC    |       | SF    |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                           | 2018  | 2026  | 2018  | 2018  |
| Escasez de forraje en agostadero en el estiaje %                                          | 92.96 | 3.12  | 87.8  | 21.95 |
| Disminución de agua en abrevaderos y otras fuentes en el estiaje %                        | 92.96 | 3.12  | 87.8  | 21.95 |
| Baja producción de forraje de temporal %                                                  | 47.88 | 96.87 | 43.9  | 94.73 |
| Desinterés de la población joven en criar caprinos %                                      | 49.29 | 90.62 | 48.78 | 84.21 |
| La producción como oportunidad de autoempleo %                                            | 60.56 | 6.25  | 56.09 | 10.52 |
| Requerimiento de estrategias para fortalecer la producción caprina %                      | 95.77 | 100   | 80.48 | 100   |
| Restricción de áreas de pastoreo %                                                        | 7.04  | 100   | 9.75  | 89.47 |
| Requerimiento de diseños funcionales de los agroecosistemas para incluir a los caprinos % | 92.95 | 100   | 95.12 | 100   |
| La actividad caprina en riesgo %                                                          | 16.95 | 96.87 | 9.75  | 94.87 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

es la restricción de áreas de pastoreo, debido a la implementación de programas sociales. No obstante, en ambos periodos 2018 y 2026 en su totalidad los productores refirieron la importancia de diseñar agroecosistemas sustentables, donde se pueda producir el alimento idóneo para los caprinos y que éstos mismos aporten insumos para producción agrícola, con el propósito de minimizar la dependencia alimentaria al exterior. Cabe señalar que, en 2026 ante las circunstancias mencionadas anteriormente se agudizó la percepción sobre la caprinocultura como una actividad económica en riesgo con 79.92 y 85.12%.

## DISCUSIÓN

En este estudio se encontró que, en los dos periodos en ambas comunidades la caprinocultura es a cargo por personas adultas, con nivel de escolaridad básica, se refiere que estos factores dificultan mayor gestión en la tecnificación en instalaciones, alimentación, obtención de productos y subproductos, entre otros. Similarmente con lo reportado por Farrera-Vázquez et al. (2019) los caprinocultores generalmente son mayores de edad entre los 24 y 75 años, así también, Maldonado-Jaquez et al. (2019) indican una edad promedio de 52 años de los productores. Salinas-González et al. (2016), señalan que, la productividad en la ganadería está asociada con la edad, a partir de 54.5 años se limitan en el desarrollo de actividades con esfuerzo físico, pero con mayor experiencia y responsabilidad. El nivel de escolaridad promedio es de primaria trunca, en concordancia con Vázquez-Rocha et al. (2024) con 3.0 años, quienes también señalan que este factor limita a gestionar una ganadería con mayor eficiencia.

En este estudio se encontró una feminización acelerada en la crianza de caprinos en ambas comunidades, caso contrario con la participación de los masculinos, ya

que se han inclinado a otras actividades económicas, inclusive la migración, siendo quienes aportan el sustento de la familia, en dicha situación las féminas se hacen responsables del hogar y en la medida posible de las actividades económicas agropecuarias realizadas por tradición.

Tal como menciona Vázquez-García (2015), el papel de la mujer rural constantemente empieza a tomar relevancia en la producción de pequeños rumiantes y otras especies en traspatio. La labor de las mujeres en la caprinocultura, con su esfuerzo incluso hacen doble jornada (Keilbach, 2023). La aportación femenina se incrementa en la producción de pequeños rumiantes cuando el propietario o jefe de familia del rebaño se emplea en otra actividad económica y asume a su cargo el rebaño (Vázquez-García, 2015), dichos cambios también se registraron en el presente estudio en 2026, en ambas comunidades.

En concordancia con los datos de 2018 de ambas comunidades que, en zonas rurales las UPF caprina funcionan con mano de obra familiar generalmente los propietarios son de género masculino, lo mismo reportado por Vázquez-Rocha et al. (2024), pero difiere con lo encontrado en la presente investigación en 2026, con la tendencia de disminución de propietarios masculinos. En el estudio realizado por Hernández et al. (2025) reportan un 53% de las UPF dirigido por hombres y 47% por mujeres, quienes constantemente empiezan a incrementar su papel como responsables, misma tendencia con lo encontrado en el presente estudio en 2026 en ambas comunidades con creciente participación de la mujer. En México es poco estudiado el rol e importancia de la mujer en la caprinocultura, se reporta que en la Mixteca poblana y oaxaqueña desempeñan un papel fundamental en esta actividad (Farrera-Vázquez et al., 2020).

En el presente estudio se registra que, la tenencia y uso de la tierra es un elemento fundamental en la ga-

nadería caprina, ya que concibe el vínculo del productor con el entorno de la producción. En Acatlán de Osorio, Puebla se registró que 50% de los productores usan tierra ejidal y 36% comunal (Hernández et al., 2025). Se indica que, en menor disposición de tierras ejidales y limitado acceso a tierras comunales el pastoreo se restringe, lo que obliga al productor a desarrollar otros sistemas de producción, el estabulado y semiestabulado.

En cuanto al relevo generacional en la caprinocultura, en el presente estudio se encontró que es un problema importante, Castellanos-Pérez et al. (2018) también señalaron que esta actividad ya no es atractiva para los jóvenes, siendo una causa del problema el bajo precio de los animales en el mercado.

Particularmente en las comunidades del presente estudio se encontró una transición del sistema en pastoreo a la producción estabulada y semiestabulada, los que resultan ser complejos con mayor implicación en la alimentación y otros cuidados, que limitan incrementar el tamaño de los rebaños de acuerdo con las características de la región. A nivel estado, en Oaxaca predomina el sistema de producción caprina en pastoreo (Fuentes-Mascorro, 2022). De igual manera, en la Mixteca poblana en zonas áridas, la caprinocultura es mayormente en pastoreo, como actividad de tipo familiar beneficia en reducir los costos de producción y facilita el desarrollo de las actividades que complementan los ingresos económicos (Robles-Robles et al., 2020; Farrera-Vázquez et al., 2020).

El contexto en 2026 en el tamaño del rebaño en SC y SF es de acuerdo con la capacidad que tienen para alimentarlos con los residuos agrícolas y forrajes que acopian. También en la Mixteca oaxaqueña se tiene un promedio de 23.3 cabezas en UPF de subsistencia y 19.6 en UPF de transición a empresarial (González-López et al., 2025). Hasta 2026, no se reporta en Oaxaca la transi-

ción de la producción en pastoreo hacia lo estabulado y semiestabulado.

En 2026, en ambas comunidades se encontró que, ante la baja producción se limita comercializar a nivel local, además, el sistema de producción predominante refleja un incremento en la inversión principalmente en la alimentación y la demanda existente, lo que favorece al aumento considerable en el precio en 600%. Ponce-Covarrubias y García-González (2024) indican que, las cabras sostienen la economía local como fuente de ingresos en medios rurales, lo que concuerda con los resultados en ambos periodos de esta investigación en SC y SF. En el presente estudio se encontró que la asignación de precio es por bulto, pero difiere con otras investigaciones donde se comercializan a los animales por kilos de peso vivo. El precio en 2019 en SC y SF, es similar con los reportado por Ortiz-Morales et al. (2021) de \$500.00 a \$900.00 pesos por animal. Trenti-Verly et al. (2021) indica el precio de cabras adultas y de descarte en \$27.00 pesos por kilogramo, y cabritos en pie a \$300.00 pesos, en un modelo de subsistencia donde los ingresos obtenidos de la venta también se destinan a la compra de alimentos básicos que no producen.

Desde 2018, en SC y SF los productores consideraron importante conocer e implementar técnicas para conservar forrajes y estrategias de alimentación de los caprinos, misma intención aún se registró en 2026, sin embargo, no lo practican. Esta situación está asociada por la falta de conocimiento y requerimientos de maquinarias para realizar el proceso, entre otras (Silva et al., 2022).

En la presente investigación en ambos periodos y comunidades de estudio, las percepciones fueron que los caprinos benefician al ecosistema, aunque en 2026 descende el porcentaje de productores que perciben dichos beneficios, dado a la disminución del pastoreo y

los cambios en el sistema de producción. Los caprinos en pastoreo benefician al ecosistema, contribuyen a fijar carbono en el suelo, son eficientes en controlar malezas y biomasa en bosques caducifolios, en varias partes del mundo se utilizan para prevenir incendios forestales (Ponce-Covarrubias y García-González, 2024).

Tal como señala Fuentes-Mascorro (2022) erróneamente muchos profesionistas reportan que los caprinos afectan al ecosistema, en la erosión del suelo, desertificación, deforestación, entre otras, sin embargo, mientras los señalamientos sean carentes de estudio con métodos científicos rigurosos y sin resultados concretos, no pueden ser justificables científicamente. Esto difiere con Campoy et al. (2019) quienes reportan únicamente percepciones sociológicas que la caprinocultura en Oaxaca aumenta la deforestación, erosión de suelo y la desertificación.

En cuanto la situación sanitaria, a nivel global también se reportan que los problemas con mayor frecuencia en la ganadería en pastoreo son los nematodos intestinales (Reyes-Guerrero et al., 2021; De Varona-Rodríguez et al., 2025). Los ectoparásitos como los piojos también cobran importancia en todo tipo de sistema de producción caprina (Castellanos-Pérez et al., 2018; Zatarain et al., 2019).

En 2018 en SC y SF predominó el uso de la medicina tradicional en el cuidado de la salud de los caprinos, en 2026 la frecuencia de uso en las UPF se disminuyó, lo que se le atribuye a que gran parte de los conocimientos y prácticas se han perdido, ya que se han transmitido de forma oral por los productores longevos innactivos. Tal como mencionan Santos-Martínez et al. (2024), los conocimientos y prácticas de etnoveterinaria al ser han transmitidos de manera oral, pone en riesgo su pérdida, además en las zonas rurales se recomienda complementar su uso con la medicina moderna, como estrategia para su preservación y fomento.

A pesar de las condiciones extremas climáticas, los productores denotaron que los caprinos son resilientes, por su hábito de ramoneo y tolerancia en el bajo consumo de agua, en misma sintonía con lo mencionado por SADER (2014) y Reshma-Nair et al. (2021). Anzaldo (2024) también menciona que la caprinocultura enfrenta problemas como: escasez de agua por la baja precipitación pluvial, deforestación y contaminación de suelo y cuerpos de agua.

En ambas comunidades la caprinocultura ha sido una actividad económica desarrollada bajo sus propias decisiones y saberes dentro de sus territorios. Sus aspiraciones son dejar un legado generacional en esta ganadería como una estrategia de impulsar el desarrollo de la comunidad y por ende el bienestar social. Se observa que el escenario actual de la ganadería caprina se encuentra vulnerable principalmente por la restricción de las áreas de pastoreo, debido a los programas sociales con atención al campo, poco relevo generacional y abandono de tierras de cultivo. La caprinocultura también se encuentra en riesgo en Guerrero y San Luis Potosí, México, en los últimos años la población de cabras también ha disminuido por los mismos motivos antes mencionados (Ponce-Covarrubias y García-González, 2024; Anzaldo, 2024).

Se refleja la necesidad de planteamiento de políticas públicas para el fomento de la caprinocultura como una acción urgente como son: extensionismo para la producción sustentable de caprinos en los agroecosistemas, facilidades de acceso a financiamientos, así como establecimientos de convenios con instituciones educativas y de investigación para proyectos de intervención comunitaria y generación de conocimientos al respecto, en misma sintonía con Hernández et al. (2025) que la caprinocultura requiere redireccionar y redimensionarse en las políticas públicas socioagropecuarias.

La feminización acelerada en la caprinocultura tradicional a pequeña escala tiene implicaciones positivas en la economía familiar y la sociedad. Esta situación también refleja una desigualdad social y a su vez una imposición social, ya que las mujeres principalmente se encargan del hogar y por ende se involucran en actividades económicas que son vistas positivas en la sociedad, sin embargo, puede afectar en su calidad de vida y la de sus hijos por reflejar una carencia de opciones para mejorar sus condiciones de vida. Por tales motivos es importante también el planteamiento de políticas públicas para abrir brechas en que su participación en la caprinocultura sea para llevar una buena calidad de vida, como acceso en financiamientos de proyectos productivos en equipos e instalaciones como lo es la caprinocultura, implementación de estrategias para el valor agregado a sus productos, mayor acceso a los servicios públicos que propicien cambios positivos en su estilo de vida, entre otros.

## CONCLUSIONES

En los medios de vida en zonas rurales, los caprinos son un elemento importante en la economía familiar y local. El escenario actual es crítico en ambas comunidades, por una caída drástica en el número de productores con una diferencia de 45.01 y 46.34% (SC y SF) entre 2018-2016, además señalando que la mayoría de los productores activos son de avanzada edad, lo que vislumbra bajo relevo generacional.

Por otro lado, las mujeres empiezan a ganar terreno en esta actividad, con un incremento de 57.61 y 52.12% (SC y SF) superior al 2018, una mayor responsabilidad e incremento en la carga laboral y una mayor responsabilidad en el hogar.

Los programas sociales con atención al campo han sido un factor que afecta al pastoreo por las restricciones de tierras, en efecto a la reducción en el tamaño de los rebaños con 91.29% y SF con 85.89% menor que en 2018, en consecuencia, la caprinocultura disminuye su potencial para el autoempleo y los ingresos económicos familiares.

Ante los desafíos que enfrenta actualmente la caprinocultura permite comercializar a nivel local con un incremento de 600% mayor que en 2018, sin embargo, las limitaciones existentes no permiten incrementar la capacidad de producción.

La caprinocultura por ser una actividad de arraigo cultural y bajo perspectiva que está en riesgo de desaparecer con 96.87 y 94.87% (SC y SF), aún existen intenciones de potencializarla, a través de introducción de tecnologías alimenticias, reproducción, sanidad, entre otras y así fortalecer la economía familiar, además se recalca la importancia de vincular este sector con instituciones educativas e investigadores para generar estrategias adecuadas e innovadoras de producción, así como planteamientos de políticas públicas socioagropecuarias en beneficio de esta actividad.

El escenario actual de la caprinocultura y los beneficios que aporta en lo económico, social, cultural y ambiental, requiere un fortalecimiento, mediante el planteamiento de nuevas políticas socioagropecuarias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro-Ortiz, M. E., Rubio-Tabárez, E., Pérez-Eguía, E., Zaragoza-Martínez, L. y Rodríguez-Galván, G. (2016). Los recursos caprinos de México. *Biodiversidad caprina iberoamericana. Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá*. (pp. 95-112). <https://ediciones.ucc.edu.co/index.php/ucc/catalog/book/42>
- Anzaldo, M. M. (2024). Oportunidades perdidas para el uso social del conocimiento científico en la política agroalimentaria en la escala subnacional Análisis del programa para productores de ganado caprino en San Luis Potosí, México. *Revista de El Colegio de San Luis*, 25. <https://doi.org/10.21696/rcsl142520241523>
- Aréchiga, C. F., Aguilera, J. I., Rincón, R. M., Méndez de Lara, S., Bañuelos, V. R. y Meza-Herrera, C. A. (2008). Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9(1), 1-14. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911227001>
- Campoy, G. M., Martínez, C. M. y Hernández, G. M. (2019). Producción y comercialización de carne porcina y ovicaprina: ¿Cadena productiva o pervivencia de una necesidad vuelta tradición? *Revista de El Colegio de San Luis*, 9(20), 191-214. <https://doi.org/10.21696/rcsl92020191040>
- Castellanos-Pérez, W., Bustamante-González, A., Delgado-Alvarado, A., Vargas-López, S., Zaragoza-Ramírez, J. L. y Olvera-Hernández, J. I. (2018). Valoración de la crianza de cabras (*Capra hircus*) por campesinos Me'phaa de la montaña de Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(10), 183-188. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i10.1266>
- De Varona-Rodríguez, E., Curbelo Rodríguez, L. M., Medina-Pérez, G., Pereda-Mouso, J., Vidal Fernández, F. y Hernández-Sánchez, F. (2025). Caracterización de los sistemas de producción caprina del municipio camagüeyano de Jimaguayú Cuba. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 11(22), 52-62. <https://doi.org/10.29057/icap.v11i22.13537>
- Farrera-Vázquez, I. C., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangel, M. I., Martínez-González, E. G y Luna-Olea, R. A. (2020). Factors influencing financial profit in goat farms in La Laguna, Durango, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 7. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e933>
- Farrera-Vázquez, I. C., Martínez-González, E., Luna-Olea, R. A., Aguilar-Ávila, J. y Aguilar-Gallegos, N. (2019). Clasificación de los caprinocultores beneficiarios del PROGAN en la Comarca Lagunera, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6 (supl. 2), 16-18.
- Fuentes-Mascorro, G. (2022). Escenario de la cabra pastoreña de la Mixteca. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 4, 71-89.
- García-Bonilla, D., Vargas-López, S., Bustamante-González, A., Torres-Hernández, G., Calderón-Sánchez, F. y Olvera-Hernández, J. (2018). La producción de caprinos para carne en la montaña de Guerrero, México *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 1-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360559614001>

- González-López, M., Ramón-Eslama, T. D., Hernández-Bautista, J., Salinas-Ríos, T., y Solís-Cortés, F. C. (2025). Caracterización socioeconómica de las unidades de producción caprinas en el distrito de San Juan Bautista Coixtlahuaca, Oaxaca. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33(96), e8215. <https://doi.org/10.33064/icycuaa2025968215e8215>
- Hernández, H. J., Ibarra, F. F., Martín, R. M., Moreno, M. S., Utrera, Q. F. y Rodríguez, C. E. (2025). Importancia del extensionismo rural como instrumento de desarrollo en unidades de producción familiar caprinas en la Mixteca poblana. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 56.
- Hernández, M. J., Rebollar, R. S., Rodríguez, L. G., Guzmán, S. E. (2025). Economía de la producción caprina en los municipios de Tejupilco y Amatepec, México. *Debate Económico Revista de Economía del Laboratorio de Análisis Económico y Social, A. C.*, 4(11), 5-24. <https://debateeconomico.org/wp-content/uploads/2023/07/debate11.pdf#page=10>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010a). *Compendio de información geográfica municipal 2010: San Cristóbal Amatlán, Oaxaca*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/20/20126.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20126.pdf)
- INEGIb (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010b). *Compendio de información geográfica municipal 2010, San Francisco Logueche, Oaxaca*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/20/20146.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20146.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Marco Geoestadístico Nacional*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>
- Keilbach, B. N. (2023). Nosotras trabajamos para las chivas y las chivas para nosotras. En *Temas actuales y problemas emergentes de la ganadería* (pp. 64-83). [https://consocpec.com.mx/assets/files/2023\\_Temas-actualesyproblemasemergentesdelaganadera-Protegido.pdf#page=65](https://consocpec.com.mx/assets/files/2023_Temas-actualesyproblemasemergentesdelaganadera-Protegido.pdf#page=65)
- Maldonado-Jáquez, J. A., Granados-Rivera, L. D., Salinas-González, H., Ramos-Martínez, J. O., Rodríguez-Hernández, K. y Domínguez-Martínez, P. A. (2019). *Caracterización socioeconómica del productor de caprinos en el sistema extensivo del norte de México* (Folleto Técnico No. 38). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP.
- Mendoza, G. E. (2002). El ganado comunal en la Mixteca Alta: de la época colonial al siglo XX. El caso de Tepelmeme. *Historia Mexicana*, 51(4), 749-785. <http://www.jstor.org/stable/25139408>
- Ortiz, O. A. (2015). Enfoques y métodos de investigación en las ciencias sociales y humanas. Ediciones de la U.
- Ortiz-Morales, O., Arias-Margarito, L., López-Ojeda, J. C., Soriano-Robles, R., Almaraz-Buendía, I. y Ramírez-Bribiesca, E. (2021). Estudio descriptivo de la producción caprina tradicional en las regiones mixteca y valles centrales de Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2840>
- Pasikowski, S. (2023). Snowball Sampling and Its Non-Trivial Nature. *Przegląd Badań Edukacyjnych (Educational Studies Review)*, 2(43), 105-120.

- Pérez-Ramírez, N., Carrera-Pacheco, S., Méndez-Espinoza, J. A., Ramírez-Juárez, J. y Regalado-López, J. (2020). Identidad territorial: el caso de la caprinocultura en Santa Ana Teloxtoc, Puebla. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 39.
- Ponce-Covarrubias, J. L. y García-González, Ethel C. (2024). El valor genético de la cabra criolla del estado de Guerrero. *Agro-Divulgación*, 4(5). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i5.369>
- Ramos-Martínez, J., Salinas-González, H., Medina-Elizondo, M., Figueroa-Viramontes, U. y Maldonado-Jáquez, J. (2020). La organización y agrupación como eje toral para el diseño de esquemas de atención a caprinocultores en el norte de México: Estudio de caso. *Abanico Veterinario*, 10. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.13>
- Reshma-Nair, M. R., Sejian, V., Silpa, M. V., Fonsêca, V. F., Melo-Costa, C. C., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath, M., Nameer, P. O. y Bhatta, R. (2021). Goat as the ideal climate-resilient animal model in tropical environment: revisiting advantages over other livestock specie. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02179-w>
- Reyes-Guerrero, D. E., Olmedo-Juárez, A. y Mendoza-de Gives, P. (2021). Control y prevención de nematodos en pequeños rumiantes: antecedentes, retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 186-204. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5840>
- Robles-Robles, J. M., Hernández-Hernández, J. E., Moreno-Medina, S., Ibarra-Flores, F. A., Martín-Rivera, M. H. y Rodríguez-Castillo, J. (2020). Línea base de indicadores productivos y reproductivos de la caprinocultura de la mixteca poblana en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 47. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14165939006>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2014). *Promueve Agricultura intercalado de caprinos para mejorar productividad y resiliencia al medio ambiente*. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/promueve-agricultura-intercalado-de-caprinos-para-mejorar-productividad-y-resiliencia-al-medio-ambiente?idiom=es>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2017). *La caprinocultura en México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-caprinocultura-en-mexico>
- Salinas-González, H., Meza-Herrera, C. A., Escareño-Sánchez, L. M., Echavarría-Cháirez, F. G., Maldonado-Jáquez, J. A. y Pastor-López, F. J. (2015). Sistemas de producción caprinos carne-leche. Tendencias productivas en México y el mundo. *Enfermedades de las cabras*. (pp. 3-22).
- Salinas-González, H., Valle-Moysen, E. D., de Santiago-Miramontes, M., Veliz-Deras, F. G., Maldonado-Jáquez, J. A., Vélez-Monroy, L. I., Torres-Hernández, D., Requejo, L. M. y Figueroa-Viramontes, U. (2016). Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la región lagunera, Coahuila, México. *Interciencia*, 41(11), 763-768. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33948191006>
- Santos-Martínez A. P., Mariscal-Méndez A., y Cuevas-Sánchez L. (2024). Conocimientos y prácticas de etnoveterinaria para el bienestar animal en San Cristóbal Amatlán, Oaxaca, México. *Actas Iberoamericana de Conservación Animal*, 19, 28-38.

- SIAP. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). *Caprino, Población ganadera 2014-2023, Cabezas*. [https://nube.agricultura.gob.mx/poblacion\\_ganadera/](https://nube.agricultura.gob.mx/poblacion_ganadera/)
- Silva, O. L., De Oliveira, F. N., Maia, N. D., Florentino, S. A., Biagioli, B., González-Esquivel, C. E. y Molina, A. T. (2022) Typology of dairy goat production systems in a semiarid region of Brazil. *Small Ruminant Research*, 216, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106777>
- Trenti-Veru, L. C., González-Jácome, A., Landín-López, A. L., Mariaca-Méndez, R., Jiménez-Ferrer, G. y Nahed-Toral, J. (2021). Caprinocultura, ambiente y economía campesina. Un análisis de los sistemas familiares ganaderos en el semidesierto potosino. *Revista de El Colegio de San Luis*, 11(22). <https://doi.org/10.21696/rcsl112220211313>
- Vásquez-García, V. (2015). Ganado menor y enfoque de género. Estudios teóricos y metodológicos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12, 515-531. <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v12n4/1870-5472-asd-12-04-00515.pdf>
- Vázquez-Rocha, L., Vázquez-Armijo, J. F., Estrada-Drouaillet, B., Martínez-González, J. C., López-Villalobos, N. y López-Aguirre, D. (2024). Caracterización del sistema caprino de producción extensiva en el Altiplano de Tamaulipas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(2). <https://doi.org/10.19136/era.a11n2.4061>
- Vélez, M. L. y Flores, N. M. (2021). Principales razas de caprinos utilizadas en Matamoros y Viesca, Coahuila. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias*. [https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/\\_Content](https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content)
- Zatarain, D. E., Gaxiola-Camacho, S. M., Portillo-Loera, J. J., Palomares-Resendiz, E. G., Barraza-Tizoc, C. L., Castro del Campo, N. y Enríquez-Verdugo, I. (2026). Caracterización de piojos y factores de riesgo asociados a su presencia en caprinos de Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 17(1). <https://doi.org/10.22319/rmcp.v17i1.6949>

# Desarrollo rural y social comunitario en la producción del búfalo de agua: el aprovechamiento de espacios marginales en las unidades de producción familiar

Daniel Mota Rojas<sup>1</sup>, Agustín Orihuela<sup>2</sup>, Adolfo Álvarez Macías<sup>1</sup>, Isabel Guerrero Legarreta<sup>3</sup>, Fabiola Torres<sup>1</sup>, Adriana Domínguez<sup>1</sup>, Fabio Napolitano<sup>4</sup>, Rosy Cruz Monterrosa<sup>5</sup>, Julio Martínez Burnes<sup>6</sup>, Iván Zambrano<sup>1</sup>, Marcelo Daniel Ghezzi<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

<sup>2</sup> Comportamiento y bienestar animal. Investigador Emérito CONAHCYT. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

<sup>3</sup> Departamento de Biotecnología. Ciencia de productos cárnicos y lácteos de búfalo de agua. Profesora Emérita y Distinguida de la Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

<sup>4</sup> Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

<sup>5</sup> Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.

<sup>6</sup> Instituto de Ecología Aplicada, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Profesor Emérito Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

<sup>7</sup> Comportamiento y Bienestar de reses y búfalos. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Argentina.

\* Correspondencia. Correo electrónico: dmota@correo.xoc.uam.mx y Adolfo Álvarez Macías, aalvarez@correo.xoc.uam.mx

**Resumen.** El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) figura como una especie estratégica para el desarrollo rural debido a su capacidad para aprovechar espacios marginales —humedales, zonas inundables y suelos de baja calidad— que la ganadería bovina convencional y las propias economías campesinas no logran capitalizar productivamente. El presente artículo analiza, mediante una revisión crítica de la literatura científica internacional, la contribución del búfalo de agua al desarrollo socioeconómico de las unidades de producción familiar (UPF). Se sostiene en una cadena argumentativa que parte de la capacidad biológica-adaptativa de la especie para habilitar territorios ociosos, continuando con la calidad nutricional diferenciada de sus productos lácteos y cárnicos como base de la autosuficiencia alimentaria y del excedente comercializable, prosigue con su función económica dentro de la UPF (empleo, mercados informales, efecto multiplicador) y culmina con la organización social y la transmisión generacional de conocimiento que sostienen dicha función. Los resultados indican que la combinación de estos elementos explica la resiliencia de la bubalinocultura familiar frente al cambio climático y su potencial de expansión en las Américas, aunque persisten vacíos de investigación sobre su impacto sociocultural directo.

**Palabras clave:** Unidades de producción familiar; Agricultura familiar; Búfalo de agua; Espacios marginales; Desarrollo rural; Trabajo familiar.

**Abstract.** Water buffalo (*Bubalus bubalis*) is listed as a strategic species for rural development due to its capacity to exploit marginal spaces —wetlands, flood-prone areas, and low-quality soils— that conventional cattle farming and peasant economies themselves fail to capitalize on productively. This article analyzes, through a critical review of the international scientific literature, the contribution of water buffalo to the socioeconomic development of peasant family production units. An argumentative chain is sustained, beginning with the biological-adaptive capacity of the species to enable idle territories, continuing with the differentiated

*nutritional quality of its dairy and meat products as a basis for food self-sufficiency and marketable surplus, proceeding with its economic function within the family unit (employment, informal markets, multiplier effect), and culminating with the social organization and generational knowledge transmission that sustain this function. Results indicate that the combination of these elements explains the resilience of family buffalo farming in the face of climate change and its expansion potential in the Americas, although research gaps remain regarding its direct sociocultural impact.*

**Keywords:** *Peasant family production units; Family farming; Water buffalo; Marginal spaces; Rural development; Family labor.*

## INTRODUCCIÓN

Los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) se producen a nivel global mediante cuatro sistemas principales: sistemas extensivos en pastos naturales, pantanales como la cuenca amazónica, sistemas intensivos y granjas familiares o unidades de producción familiar (UPF) (Borghese et al., 2023). De acuerdo con la FAO (2019), las UPF son un tipo de producción agrícola y ganadera caracterizada por mano de obra casi exclusivamente familiar y por la obtención de productos destinados al autoconsumo o a la venta local de excedentes. Las UPF ganaderas son actualmente los sistemas de producción con mayor extensión a nivel mundial y son responsables de una proporción mayoritaria de la producción mundial de alimentos (FAO, 2019). En el caso de las UPF dedicadas a búfalos de agua, estimaciones poblacionales recientes indican que este tipo de sistema representa hasta el 90% de las granjas bufalinas en países como India, Pakistán, Irán, Bangladés, Sri Lanka y Egipto (Borghese et al., 2023; Naga et al., 2025).

Un rasgo estructural de las UPF es su relación desigual con el recurso tierra. Los análisis más recientes del Panel Internacional de Expertos en Sistemas Alimentarios Sostenibles señalan que el 80% de las UPF –particularmente en América Latina, el sudeste asiático y Europa– dispone únicamente del 12% de la superficie agrícola mundial, mientras que el 70% de dicha superficie pertenece a apenas el 1% de los productores a gran escala (IPES-Food, 2024). La concentración de la tierra ha impedido la incorporación de vastas extensiones de humedales, zonas inundables y suelos marginales que la ganadería pastoril convencional no puede aprovechar con niveles de rentabilidad aceptables (Chiariotti et al., 2025). En este contexto, el búfalo de agua se ha posicionado como la especie capaz de habilitar productivamente dichos espacios: su inventario mundial ha incrementado considerablemente en las últimas décadas (Bonilla-Landaverrey et al., 2026; FAO, 2024), impulsado por su adaptabilidad ambiental y multifuncionalidad productiva, aun con recursos limitados (Borghese et al., 2023; Chiariotti et al., 2025).

Aunque se acepta la relevancia estructural de las UPF bufalinas en diferentes partes del mundo, los estudios enfocados en el impacto socioeconómico y cultural del búfalo en el desarrollo rural y territorial son escasos y bajo enfoques parciales (Minervino et al., 2020). Existe un vacío de conocimiento sobre su aportación a la seguridad alimentaria y económica, como fuente de empleo, la organización comunitaria y comercial. Bajo este contexto, el objetivo del presente artículo es analizar, mediante una revisión crítica de la literatura científica internacional, el papel del búfalo de agua en el desarrollo rural y social comunitario, sosteniendo que dicha contribución se explica por una cadena causal de cuatro componentes: (a) la capacidad biológica de la especie para aprovechar espacios marginales que las economías campesinas no logran

capitalizar con otras especies; (b) la calidad nutricional diferenciada de sus productos, base de la autosuficiencia familiar y del excedente comercializable; (c) la función económica que de ello se deriva dentro de la UPF; y (d) la organización social y la transmisión de conocimiento que sostienen dicha función y explican, en conjunto, la resiliencia de la especie frente al cambio climático y su proyección en las Américas.

## MARCO CONCEPTUAL

El concepto de agricultura familiar, en el que se inscriben las UPF, ha sido definido por la FAO (2019) como aquella forma de producción agrícola, forestal, pesquera, pastoril y acuícola gestionada y operada por una familia, y predominantemente dependiente de la mano de obra familiar. Van der Ploeg (2018) ha adoptado esta definición desde la noción de campesinado como una forma de organización social y productiva asentada en la autonomía relativa frente a las instituciones y los mercados de insumos, productos y capital, en la que la unidad productiva articula recursos propios —tierra, ganado, conocimientos y fuerza laboral— para garantizar la reproducción social de la familia antes que la optimización de la ganancia.

Bajo la perspectiva de los medios de vida sostenibles, Scoones (2015) propone que el potencial de una unidad doméstica rural para hacer frente a perturbaciones ambientales y económicas depende de la variedad de recursos —naturales, físicos, financieros, humanos y sociales— que puede congregarse, y de su habilidad para combinarlos en sus estrategias de subsistencia. Esta perspectiva resulta especialmente relevante para entender el papel del búfalo de agua, en la medida en que la especie forma parte de los activos naturales (al transformar forraje de baja calidad en proteína), un activo económico. (al

funcionar como reserva de valor líquida) y un recurso social (al contribuir a la organización del trabajo familiar).

Bajo la perspectiva agroecológica, Altieri y Nicholls (2017) señalan que los sistemas campesinos diversificados presentan mayor resiliencia frente a perturbaciones climáticas que los sistemas especializados de monocultivo o monoespecie. Esta resiliencia se explica por la funcionalidad adicional que aporta la diversidad biológica gestionada en dichos sistemas. El concepto de *diversified farming systems* (DFS), propuesto por Kremen et al. (2012) y retomado por Farkas et al. (2023) en su análisis del sector pecuario húngaro, Altieri y Nicholls robustecen esta idea: los sistemas que integran biodiversidad funcional en distintas escalas espaciales y temporales generan beneficios productivos, ecológicos y económicos tanto en el corto como en el mediano y largo plazo. Estos beneficios incluyen mejoras en la salud del suelo, mayor polinización y una gestión más eficiente del agua, aspectos que los sistemas intensivos y especializados difícilmente logran. Farkas et al. (2023) justifican, además, que el declive de la ganadería familiar y de pequeña escala en Hungría generó consecuencias negativas para el empleo rural, la biodiversidad y la organización comunitaria, lo cual ilustra por contraste lo que está en juego cuando una especie multifuncional como el búfalo de agua logra insertarse dentro de sistemas familiares en lugar de ser desplazada por la especialización productiva.

Por último, desde el enfoque de la economía agraria, Das et al. (2020) aportan evidencia cuantitativa sobre la función equitativa de la ganadería dentro de las economías rurales: en India, el coeficiente de Gini de la posesión de ganado es sustancialmente menor que el de la tierra, lo que indica una distribución más equitativa de este activo entre las unidades rurales, y su propiedad reduce la probabilidad de caer en pobreza. Estos aportes, aunque referidos al ganado de otras especies, ofrecen un marco comparativo

oportuno para interpretar el papel específico del búfalo de agua como activo productivo dentro de la UPF.

El concepto de sostenibilidad retomado para interpretar la bubalinocultura requiere, a su vez, una precisión suplementaria. De acuerdo con la definición de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, retomada por Boz et al. (2026) en su análisis de la sostenibilidad de granjas bufalinas en Turquía, el desarrollo sostenible debe satisfacer las necesidades cotidianas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, lo que en el ámbito de la producción primaria se traduce en tres dimensiones complementarias: económica, social y ambiental. Bustillo-García y Bechara Dickdan (2016) proponen, específicamente para los agroecosistemas bufalinos latinoamericanos, un enfoque de interacción sociedad-naturaleza, en el que la sostenibilidad del sistema productivo no depende únicamente del manejo técnico del productor, sino de la capacidad cognitiva ecológica que este desarrolla para interpretar y regular los flujos de materiales y energía de su unidad productiva. Esta noción de capacidad cognitiva ecológica resulta complementaria a la transmisión de conocimiento descrita por Van der Ploeg (2018), en la medida en que ambas remiten a la acumulación intergeneracional de saberes prácticos como condición de sostenibilidad, y será retomada en el análisis de la organización social de la UPF bufalina.

## MÉTODO DE TRABAJO

El presente artículo se fundamentó en una revisión crítica de la literatura científica internacional que se ha desarrollado sobre la producción de búfalo de agua en sistemas de producción familiar y su relación con el desarrollo rural y territorial. Para la búsqueda de bibliografía se consultaron las bases de datos Web of Science, Scopus, PubMed,

Google Scholar y los repositorios institucionales de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés), con combinaciones de los términos “water buffalo”, “*Bubalus bubalis*”, “smallholder”, “family farming”, “rural development”, “marginal land” y “rural employment”. Se priorizaron las publicaciones de 2010 a 2026, con el fin de asegurar la actualidad de los datos socioeconómicos y demográficos referidos; en casos especiales se incorporaron referencias previas a 2010 cuando aportaban definiciones conceptuales y metodológicas trascendentes. Se incorporaron artículos originales, revisiones bibliográficas, capítulos de libro especializados e informes de organismos internacionales. Se excluyeron fuentes sin revisión por pares y publicaciones que no presentaban los procedimientos metodológicos o la fuente de los datos presentados. La síntesis de la información se organizó bajo la cadena causal del razonamiento que preside el artículo –desde la capacidad biológica de la especie hasta su función económica, organizativa y social dentro de la UPF–, con el propósito de exponer de manera crítica cómo cada dimensión del análisis coadyuva a explicar la premisa subsecuente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

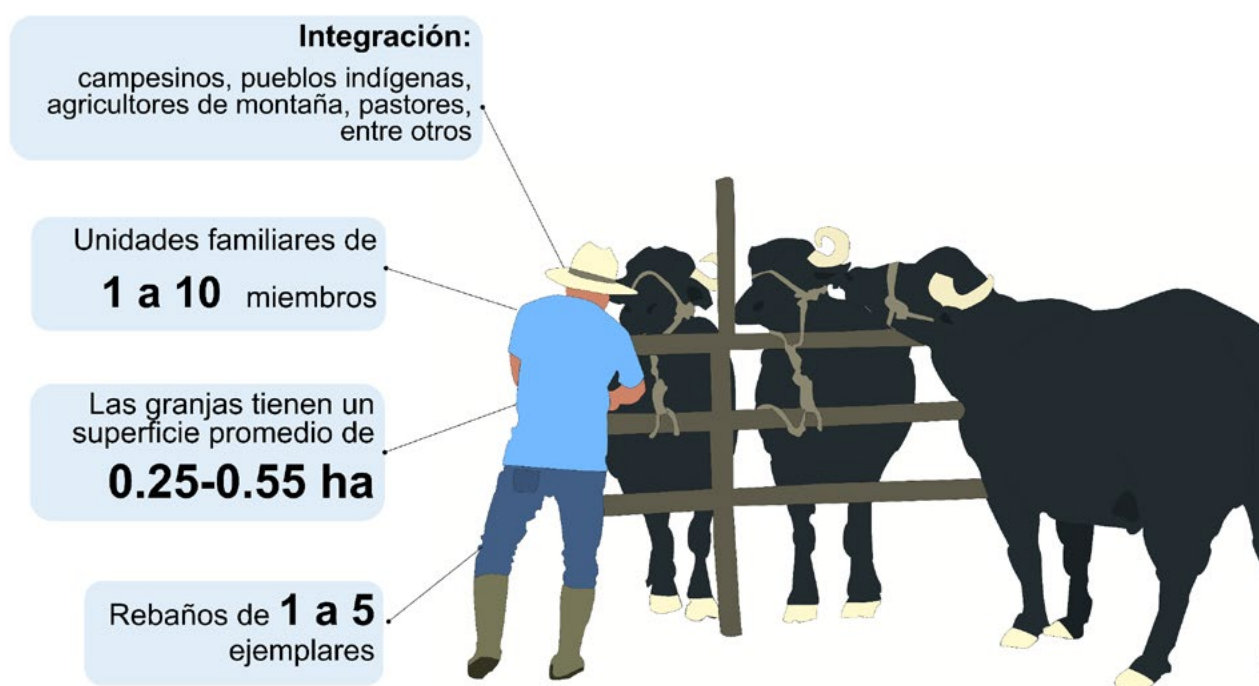
### El búfalo de agua como especie habilitadora de espacios marginales

De manera distinta a la ganadería vacuna convencional, en la bufalina se integran de manera orgánica ecosistemas marginales y humedales, con capacidad de adaptación a cada región, tipo de finca y tamaño del hato (Chiariotti

et al., 2025). En el sudeste de Asia, donde se concentra la mayor parte del inventario mundial de búfalos, el tamaño medio de las UPF es relativamente pequeño, con superficies de entre 0.27 y 1.3 hectáreas en países representativos como China, Indonesia e India (Dev, 2012, citado en Borghese et al., 2023). Esto es parecido a lo registrado en Egipto, en donde la mayor parte de los búfalos se ubican en UPF de menos de media hectárea (Soliman, 2018). La concentración de la bubalinocultura familiar en unidades de pequeña escala no es necesariamente un rasgo

de baja productividad, sino la expresión de que la especie permite la utilización intensiva de las tierras disponibles, que difícilmente serían aprovechables por la ganadería convencional. La Figura 1 sintetiza las características básicas de estos sistemas, que combinan un número reducido de unidades animales, interacción entre familia y ganado, y aprovechamiento de superficies y forrajes locales que constituyen la base material de la bubalinocultura familiar.

**Figura 1. Características distintivas de la agricultura familiar en los sistemas domésticos bufalinos**



Esta capacidad se basa en características anatómicas y fisiológicas específicas. Georgiev et al. (2023) identificaron en el búfalo de agua inserciones musculares más robustas en la región metatarsiana, una disposición particular de los músculos flexores y extensores de los dedos, y la ausencia del hueso sesamoideo metatarsal, lo que le confiere mayor estabilidad y una movilidad distal en terrenos fangosos y que se inundan con frecuencia. A ello se adiciona una epidermis más gruesa y abundante en melanina, menor densidad de folículos pilosos y glándulas sudoríparas de mayor tamaño, peculiaridades que facilitan la termorregulación en climas con alta humedad (Bertoni et al., 2020). En cuanto a su nivel de eficiencia digestiva, el búfalo registra coeficientes superiores de digestibilidad de materia seca, materia orgánica y fracciones fibrosas en comparación con el bovino convencional, lo que le permite procesar forrajes de escasa calidad y subproductos agrícolas que de otro modo se desperdiciarían (Wahid y Rosnina, 2011; Chanthakhoun et al., 2012). Terramocia et al. (2013) documentaron que la producción láctea de búfalas alimentadas con orujo de aceituna deshuesado –un subproducto agroindustrial de bajo costo– no fue significativamente diferente a la de búfalas alimentadas con alimentos concentrados, lo que pone de manifiesto la capacidad de la especie para transformar residuos en proteína de alto valor.

Esta rusticidad se convierte en mayor longevidad productiva: la vida productiva del búfalo en sistemas intensivos puede variar entre 9 y 11 años, con reportes de hasta 35 años en cautiverio, frente a una vida productiva de 3.5 a 6 años en el ganado bovino lechero en sistemas intensivos (El-Debaky et al., 2019; Cesarani et al., 2026). Otros estudios realizados en regiones áridas muestran que el búfalo de agua también es resistente a la escasez de agua y alimento, y puede sostener jornadas de trabajo de hasta 9.5 horas diarias en condiciones

de temperaturas elevadas (Pal y Chatterjee, 2013). Las evidencias anteriores sustentan e de que el búfalo de agua no es más que una alternativa pecuaria pues la especie permite a las economías campesinas capitalizar de manera productiva extensiones de tierra que, de otra manera, permanecerían marginadas de las posibilidades convencionales. Este hecho adquiere relevancia en un contexto de creciente concentración de la tierra a escala global (IPES-Food, 2024; Mota-Rojas et al., 2024, 2025).

## **Calidad de los productos bufalinos como base de la autosuficiencia y el excedente comercializable**

La capacidad del búfalo para ocupar espacios marginales sería de escaso valor económico si no estuviera acompañada de una calidad de producto que justifique su aprovechamiento. La leche de búfala contiene mayores niveles de grasa, proteína y sólidos totales que la leche de vaca, lo que la vuelve particularmente apta para la elaboración de quesos, yogur, mantequilla y otros derivados de valor agregado (Ahmad et al., 2010, citado en Viana et al., 2025; Mota-Rojas et al., 2026). Esta diferenciación nutricional es la que permite que la producción bufalina cumpla una doble función dentro de la UPF: cubrir primero las necesidades de autoconsumo familiar y, una vez satisfechas, generar un excedente con capacidad de competir en mercados locales por su calidad diferenciada y no únicamente por su volumen.

En el caso de la carne, investigaciones recientes destacan su menor contenido de grasa y colesterol en comparación con la carne de *Bos taurus*, así como la presencia

de compuestos bioactivos de interés nutricional como taurina, carnitina y glutatión (Naveena y Kiran, 2026; Maheswarappa et al., 2024). La combinación de costo de producción inferior—hasta de 22% por litro de leche o kilogramo de carne en comparación con sistemas convencionales en países latinoamericanos como México, Brasil y Colombia (Pacheco-Hernández et al., 2025— y mayor calidad nutricional sitúa al búfalo de agua como un recurso estratégico para asegurar el acceso a proteína de bajo costo en poblaciones con bajos ingresos, sin perder valor nutricional.

El pasaje de la autosuficiencia al excedente para comercializar se ha documentado en distintos contextos. En Turquía el 82% de las UPF bufalinas orienta su producción hacia el autoconsumo, con una proporción de estas granjas comercializando leche, queso, mantequilla y yogur en mercados locales una vez satisfechas las necesidades familiares (İşik y Gül, 2016). En Egipto, una parte relevante de la leche de búfala se destina al autoconsumo, mientras que el sobrante se transfiere a recolectores o se transforma en queso o mantequilla para su venta (Sarant, 2025). En Nepal, la elaboración de ghee (mantequilla clarificada) ilustra esta doble función: resulta una práctica tradicional sistemática orientada tanto al autoabastecimiento como al mercadeo en mercados locales (Samad et al., 2026). Esta cadena —priorizando la autosuficiencia familiar, excedente después— es consecuente con la dinámica de la economía campesina planteada por Van der Ploeg (2018), en la que la producción no se orienta primariamente a la maximización del beneficio, sino a la seguridad alimentaria de la unidad doméstica, complementada con ingresos monetarios cuando las condiciones de mercado lo permiten.

## La función económica de la unidad de producción familiar de producción bufalina

La función económica del búfalo de agua dentro del funcionamiento de las UPF se articula a través de vías de generación de ingreso variadas. La venta de leche, animales en pie o carne representa la vía principal de ingreso de capital (Bonilla-Landaverry et al., 2026; Deb et al., 2016). En Pakistán, nación que suministra una proporción considerable de la producción láctea bufalina en el mundo, una parte relevante de los pequeños productores obtiene una fracción significativa de sus ingresos mediante la venta de leche (FAO, 2025a). Adicionalmente, el empleo de la fuerza animal —para tracción y carga— continúa siendo una estrategia de subsistencia trascendente en sistemas de bajos insumos, al minimizar la dependencia de maquinaria, combustibles fósiles y mantenimiento (Mota-Rojas et al., 2021; Bonilla-Landaverry et al., 2026).

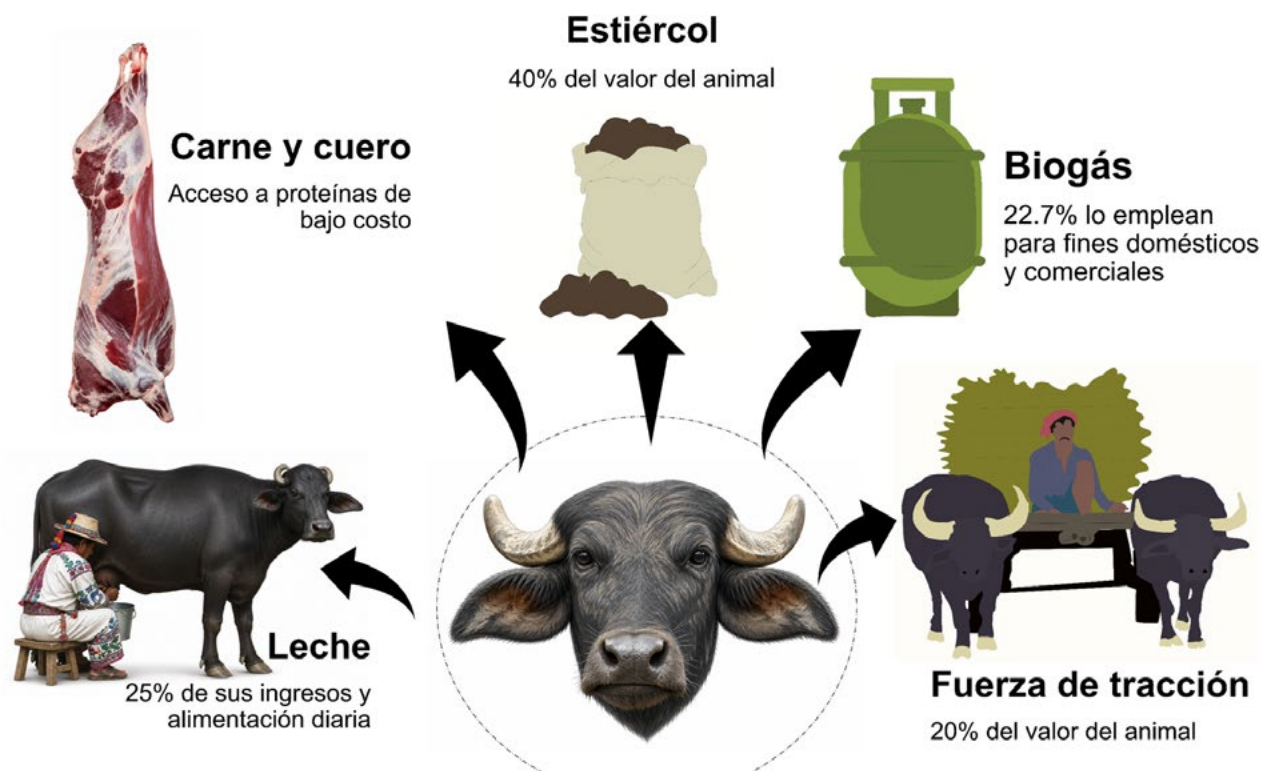
El estiércol y las pieles constituyen otros activos importantes. En el sureste de México, la producción de biogás a partir de estiércol de búfalo de razas como Murrah/Jaffarabadi ha mostrado un poder calorífico estable con concentraciones reducidas de sulfuro de hidrógeno, lo que lo posiciona como fuente de energía renovable para las UPF (Frías et al., 2026). De forma complementaria, la vermicomposta elaborada a partir del estiércol de búfalo ha demostrado mejorar de manera notable el rendimiento de cultivos hortícolas frente a suelos no fertilizados (Fusco et al., 2025), lo que evidencia el papel del subproducto como insumo agrícola de bajo costo dentro de sistemas mixtos, es decir, con cultivos y ganados. Esta multiplicidad de funciones —láctea, cárnica, de tracción y de subproductos— ha llevado a estimar que la fuerza de

trabajo del búfalo puede aportar hasta el 30% de la potencia agrícola disponible dentro de las fincas familiares, una parte mayor que la de cualquier otro animal de tiro (El-Debaky et al., 2019), con lo que se constata el carácter multifuncional de la especie como un elemento articulador del funcionamiento de la UPF, más allá de considerar cada uno de sus productos.

Esta variedad de fuentes de ingreso desencadena, además, un efecto multiplicador sobre la economía rural a nivel más amplio. Hostiou et al. (2020) revelaron que por cada empleo creado dentro de unidades pecuarias se generan aproximadamente 1.25 empleos adicionales en otros sectores económicos –suministro de insumos, transporte, procesamiento y comercialización– lo que

denota que el impacto económico de la UPF bufalina trasciende el ingreso directo de las unidades familiares. A nivel global, se ha estimado que aproximadamente 1.3 mil millones de personas participan en distintos segmentos de las cadenas pecuarias (Herrero et al., 2013), con una proporción significativa que se inserta en el sector informal, particularmente en regiones de África y Asia, en donde la mayoría de los productores y consumidores suelen pertenecer a sectores de bajos ingresos (Herrero et al., 2013). La Figura 2 muestra esta multifuncionalidad, mostrando que la viabilidad económica de la UPF bufalina deriva de la articulación simultánea de estos múltiples flujos de valor.

**Figura 2. Multifuncionalidad de los búfalos de agua en las unidades de producción familiar (UPF)**



Los mercados informales desempeñan, en este sentido, un papel central al permitir la venta de productos derivados del búfalo sin costos adicionales relacionados con certificaciones sanitarias, intermediarios o logística (Solís-López et al., 2022). En Filipinas, se han documentado al menos 43 cooperativas que forman parte de un centro nacional de búfalos y facilitan los programas de ordeño y distribución de derivados lácteos para su comercialización local (Padua et al., 2021). En México, hasta la mitad de las UPF de animales de granja mantienen vínculos con mercados locales, y el trueque continúa siendo practicado por una proporción relevante de los comerciantes de productos agropecuarios (Solís-López et al., 2022). Esta evidencia comparativa con otros sistemas pecuarios resulta consistente con lo documentado por Das et al. (2020) para la ganadería india en general: la posesión de ganado —en este caso, de búfalos— se distribuye de manera más equitativa que la tierra entre los hogares rurales, lo que refuerza su papel como mecanismo de reducción de la desigualdad económica dentro de la UPF.

## Organización social y transmisión de conocimiento

La función económica descrita en el apartado anterior se sostiene mediante una organización social específica del trabajo familiar. En Turquía, aproximadamente dos tercios de las UPF bufalinas son manejadas a tiempo completo por miembros de la familia (Soysal, 2013), y un estudio reciente determinó que el trabajo familiar total asciende a un promedio de 0.72 unidades de trabajo anuales, de las cuales solo una fracción menor corresponde a mano de obra remunerada (Ozturk et al., 2022). Esta dependencia del trabajo no remunerado es consistente con lo reportado en

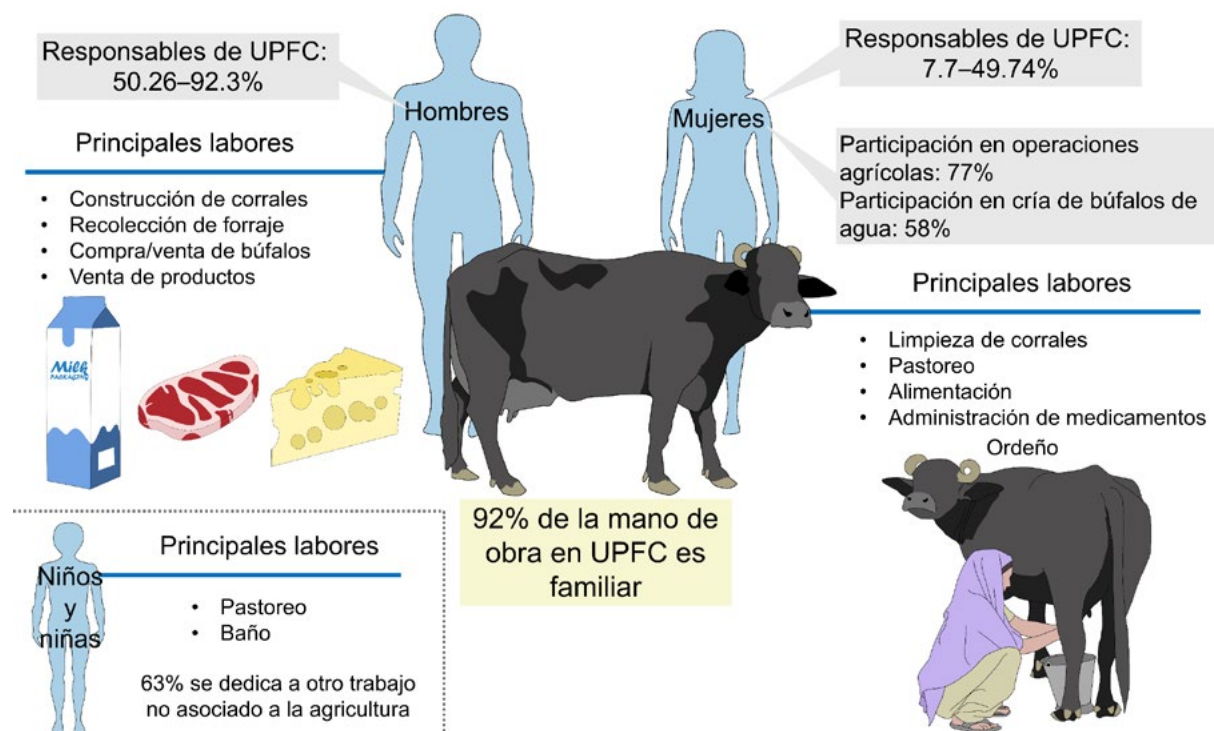
Bangladesh, donde estudios recientes en regiones costeras documentan que la cría de búfalos se practica mayoritariamente por hombres de edad adulta dentro de núcleos familiares (Kabir et al., 2020), si bien la distribución de responsabilidades por género muestra patrones diferenciados.

En efecto, aunque la propiedad de la UPF recae predominantemente en hombres, las actividades de cuidado cotidiano —alimentación, ordeña, limpieza de corrales— son realizadas mayoritariamente por mujeres (Sarant, 2025; Soliman, 2018). Devkota et al. (2015) documentaron en Nepal que mientras la construcción de establos y la recolección de forraje son realizadas predominantemente por hombres, las mujeres concentran la limpieza de corrales, el pastoreo, la alimentación y la administración de medicamentos; las decisiones de comercialización, en cambio, permanecen lideradas por hombres. Este patrón de división del trabajo por género en la ganadería familiar es consistente con evidencia más amplia documentada por Das et al. (2020) para el sector pecuario indio, donde las mujeres representan más de la mitad de los trabajadores adultos dedicados a la ganadería, con una participación particularmente alta entre mujeres sin educación formal, dado el carácter intensivo en mano de obra de estas actividades. Esta misma evidencia muestra que una mayor participación femenina en el cuidado del ganado se asocia con una reducción significativa de la desnutrición infantil en el hogar, lo que sugiere que la división del trabajo por género dentro de la UPF bufalina no es solo una cuestión organizativa, sino que tiene implicaciones directas sobre la seguridad alimentaria familiar. La Figura 3 esquematiza esta distribución diferenciada de las labores, poniendo de relieve que la sostenibilidad operativa de la UPF descansa sobre una organización interna del trabajo que, lejos de ser accidental, refleja patrones culturales consolidados que definen la identidad productiva de la unidad familiar.

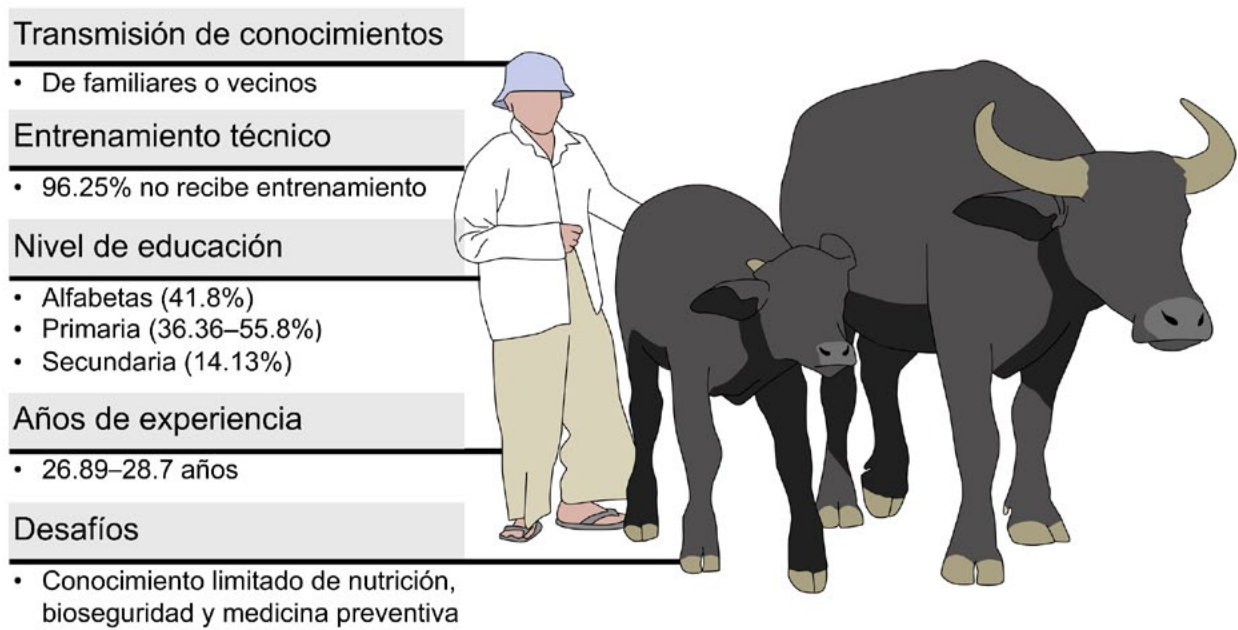
La transmisión generacional de conocimientos constituye un tercer componente de esta organización social. En Bangladesh, prácticamente la totalidad de las UPF consultadas por Kabir et al. (2020) reportó la adquisición de conocimiento sobre crianza y manejo bufalino a través de familiares o vecinos, mientras que una parte mínima recibió entrenamiento técnico formal. La ausencia de capacitación formal se relaciona con el nivel educativo predominante entre los responsables de las granjas bufalinas: investigaciones en Turquía y Nepal documentan que una proporción considerable de las personas involucradas en estas unidades posee únicamente educación primaria o carece de educación formal (Işık y Gül, 2016; Devkota et al., 2015). No obstante, el nivel educativo in-

cide directamente en las prácticas de manejo y en la rentabilidad: Makarabbi et al. (2025) detectaron en India que el acceso a educación y el entrenamiento aumenta sustancialmente el conocimiento sobre manejo bufalino y se traduce en mayores beneficios económicos por unidad productiva. La Figura 4 sintetiza los factores que condicionan esta transmisión generacional, diferenciando entre los canales informales –familia, vecinos, comunidad– que predominan en la práctica cotidiana, y los canales formales –capacitación técnica, extensionismo u organizaciones de productores,– cuyo acceso restringido figura como uno de las principales limitantes para la sostenibilidad de largo plazo de las UPF bufalinas.

**Figura 3. Distribución de las labores familiares dentro de un sistema bufalino en zonas rurales**



**Figura 4. Factores asociados a la transmisión de conocimiento generacional en sistemas bufalinos en zonas rurales**



El cambio generacional, sin embargo, enfrenta obstáculos crecientes. En Vietnam, el ingreso masivo de los niños a la educación formal ha desplazado progresivamente su participación en la crianza de los búfalos, una actividad que tradicionalmente asumían las generaciones jóvenes de comunidades étnicas minoritarias (Garber y Turner, 2023). Este comportamiento es coherente con lo observado por Farkas et al. (2023) para el sector pecuario en Europa, donde el recambio generacional resulta insuficiente –solo una proporción menor de las fincas es gestionada por agricultores jóvenes– siendo uno de los principales desafíos para la continuidad de los sistemas familiares de pequeña escala, al margen de la especie productiva involucrada. La comparación entre ambos contextos su-

giere que la pérdida de conocimiento tradicional en la bubalinocultura familiar no es un hecho aislado, sino parte de una tendencia estructural que impacta a la agricultura familiar a nivel global, y que requiere de políticas públicas específicas para su mitigación.

La evidencia empírica reciente confirma estadísticamente este vínculo entre organización social y sostenibilidad de la UPF bufalina. En un estudio con 177 productores bufalinos en la provincia de Samsun, Turquía, Boz et al. (2026) elaboraron un índice compuesto de sostenibilidad económica, social y ambiental, y definieron mediante un modelo probit ordenado que el nivel educativo del productor, el tamaño de la familia, la superficie disponible y de cultivos forrajeros, el inventario animal y

la pertenencia a organizaciones de productores influyen de manera estadísticamente significativa sobre la sostenibilidad de las fincas, mientras que variables de exposición pasiva a la información, como televisión o radio, no resultaron relevantes. Este hallazgo refuerza el argumento de que la sostenibilidad de la UPF bufalina depende de mecanismos estructurados e interactivos de transmisión de conocimiento –educación formal, extensionismo agrícola, organización gremial– y no simplemente de la disponibilidad de información, lo que es congruente con la noción de capacidad cognitiva ecológica planteada por Bustillo-García y Bechara Dickdan (2016). Esta misma investigación documentó, además, que la sostenibilidad social fue la dimensión mejor evaluada por los productores, que se basa en relaciones vecinales e institucionales, mientras que la característica con la calificación más baja fue precisamente el deseo de los hijos de continuar la actividad familiar, lo que ratifica empíricamente, con datos de encuesta, la misma tensión generacional que se detectó cualitativamente tanto en Vietnam como en el sector pecuario europeo.

Cabe destacar, no obstante, un matiz relevante para el argumento central de este artículo. Boz et al. (2026) revelaron que las fincas bufalinas de mayor tamaño alcanzaron puntajes de sostenibilidad compuesta más altos que las de menor escala, lo que podría sugerir una tensión entre el modelo de UPF de pequeña escala defendido en este análisis y la evidencia de que la escala favorece la sostenibilidad evaluada en estos términos. Sin embargo, los mismos autores atribuyen esta diferencia no a una superioridad intrínseca de la gran escala, sino al mayor acceso de las fincas de gran escala a financiamiento, asistencia técnica y poder de negociación en las relaciones mercantiles de insumos y productos, es decir, a las mismas variables estructurales (educación, organización gremial, extensionismo) que, según el modelo estadístico, son las

que efectivamente explican la sostenibilidad. Lo anterior sugiere que el desafío de política pública no consiste en sustituir la UPF por modelos de mayor escala, sino permitir el acceso a unidades familiares de pequeña escala a los mismos factores estructurales.

## Resiliencia climática y proyección en las Américas

La combinación de los tres elementos descritos –capacidad biológica, calidad de producto y organización socioeconómica– explica la resiliencia de la bubalinocultura familiar frente al cambio climático. En Filipinas, ante tifones, inundaciones y sequías, localidades rurales han diversificado sus medios de vida migrando parcialmente de cultivos vulnerables hacia la producción de búfalos de agua, percibida como una fuente de ingresos más estable frente a la volatilidad climática (Escarcha et al., 2020). Esta resiliencia, sin embargo, depende también del acceso a apoyo institucional, asistencia técnica y programas de desarrollo rural (Escarcha et al., 2020), lo que confirma que la capacidad biológica de la especie es una condición necesaria pero no suficiente para garantizar el bienestar socioeconómico de las UPF.

En el continente americano, el número de búfalos de agua ha registrado un incremento sostenido desde su introducción a finales del siglo XIX (Minervino et al., 2020; FAO, 2025a). Actualmente, una proporción creciente de la población bufalina mundial se concentra en áreas tropicales y subtropicales de Brasil, Argentina, Colombia y México (FAO, 2025a, 2025b), regiones caracterizadas por su alta vulnerabilidad socioambiental y por la disponibilidad de extensas superficies de humedales –como la cuenca amazónica o el sur de Veracruz hasta Campeche,

en México— con especies forrajeras nativas aprovechables para la alimentación bufalina (Bertoni et al., 2021). La concentración de las producciones bufalinas americanas en UPF de pequeña y mediana escala, más que en grandes empresas intensivas, es congruente con el planteamiento agroecológico de Altieri y Nicholls (2017) sobre la resiliencia diferencial de los sistemas diversificados de pequeña escala en contraste con los sistemas especializados de monocultivo o monoespecie.

A pesar de que el potencial del búfalo en las Américas es amplio, enfrenta diferentes obstáculos estructurales parecidos a los documentados para otros sistemas pecuarios de tipo familiar: infraestructura limitada, amplia brecha de conocimiento técnico-productivo entre productores locales y ausencia de regulación de mercados informales (El-Debaky et al., 2019; Chiariotti et al., 2025). La experiencia europea revisada por Farkas et al. (2023) marca un contraste importante: el reemplazo de la ganadería familiar húngara por sistemas industriales e intensivos no produjo externalidades ambientales ni sociales positivas. Por el contrario, generó pérdida de empleos rurales, degradación de pastizales y disminución de la biodiversidad. Este resultado respalda la recomendación de orientar el desarrollo de la bubalinocultura americana hacia el fortalecimiento de la Unidad de Producción Familiar (UPF), mediante políticas de diversificación productiva (DFS) y sucesión generacional, en lugar de promover su sustitución por sistemas intensivos.

El caso venezolano muestra de manera fehaciente esta disyuntiva. Bustillo-García y Bechara Dickdan (2016) documentan que Venezuela dispone de una población bufalina considerable, que se ubica en sabanas inundables donde el ganado bovino convencional presenta un desempeño productivo notablemente inferior, lo que reproduce a escala nacional el argumento de aprovechamiento de espacios marginales que se presentó en la

primera sección de este artículo. Sin embargo, las autoras resaltan que la expansión de la bubalinocultura venezolana afronta una doble barrera cultural: por un lado, la experiencia y valores de los ganaderos ha girado en torno al bovino, y por otro, hábitos de consumo igualmente anclados en leche y carne y derivados de origen vacuno. Este arraigo cultural, más que una limitación biológica o productiva de la especie, es la que ha pospuesto la consolidación de sistemas bufalinos plenamente sostenibles en la región, lo que pone de relieve el cuarto componente de la cadena causal propuesta en este artículo, es decir, la organización social y la transmisión de conocimiento no es menos influyente que los tres anteriores para comprender el ritmo de expansión de la especie en contextos americanos distintos al colombiano, brasileño o mexicano.

## CONCLUSIONES

A lo largo del presente análisis se ha documentado como el búfalo de agua puede contribuir al desarrollo rural y social de diferentes comunidades, siguiendo una cadena causal de cuatro elementos secuenciales interdependientes. En primer lugar, se ha destacado la capacidad biológica-anatómica y digestiva de la especie que le permite aprovechar productivamente territorios marginales —humedales, zonas inundables, suelos y pastos de baja calidad— que la ganadería bovina convencional y las propias economías campesinas, limitadas por la desigual apropiación de la tierra dedicada a actividades primarias, no lo gran capitalizar con otras especies animales. En segundo término, esta capacidad se transforma en derivados lácteos y cárnicos de calidad nutricional diferenciada, que dan lugar a la autosuficiencia alimentaria familiar y, por otra parte, generan excedentes con capacidad de insertarse en mercados locales, tanto por calidad y no solamente

por cantidad. En tercer lugar, esta producción se articula con una función económica multidimensional, considerando la venta directa, tracción animal, excretas, piel, con un efecto multiplicador documentado sobre la economía rural circundante. Finalmente, esta función económica puede fortalecerse mediante una organización social que comprenda el trabajo familiar, diferenciado por género y por edad, cuya continuidad enfrenta en la actualidad tensiones estructurales similares a las reseñadas en otros sistemas pecuarios familiares a nivel global.

La evidencia expuesta permite afirmar que la bubalinocultura familiar figura como una estrategia de resiliencia pertinente para las Américas, dada la disponibilidad de amplias superficies de humedales tropicales y subtropicales que no se aprovechan plenamente. Es necesario, sin embargo, matizar este argumento: evidencia empírica reciente muestra que las fincas bufalinas de mayor escala obtienen puntajes de sostenibilidad compuesta más elevados que las UPF de pequeña escala, una diferencia explicada no por el tamaño, sino por el mayor acceso de las fincas de gran escala a educación, crédito, extensionismo y organización productiva. Esto denota que la prioridad de política pública no debe ser sustituir la UPF por modelos de gran tamaño, sino extender a las unidades familiares el acceso a esos mismos factores estructurales que explican la sostenibilidad, sin dejar de lado las ventajas sociales y ambientales documentadas para la pequeña escala. No obstante, persisten vacíos de investigación relevantes. Las consecuencias directas sobre la organización de las UPF bufalinas, el mercadeo de sus productos y los mecanismos de transmisión generacional de conocimiento en el contexto americano siguen siendo poco estudiadas, en comparación con lo ya analizado en Asia y Europa. Por ello, se recomienda impulsar investigaciones con enfoques integrales que aborden la generación de ingresos, el empleo rural, la resiliencia y la organiza-

ción social de las UPF bufalinas americanas, así como el aprovechamiento de los territorios. Estas investigaciones deberían acompañarse de políticas públicas orientadas a la diversificación productiva y a la renovación generacional, en lugar de privilegiar exclusivamente modelos intensivos cuyas externalidades sociales y ambientales han sido documentadas como negativas en otros contextos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, S., Gaucher, I., Rousseau, F., Beaucher, E., Piot, M., Grongnet, J.F., & Gaucheron, F. (2010). Effects of acidification on physico-chemical characteristics of buffalo milk: A comparison with cow's milk. *Food Chemistry*, 106, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.021>
- Altieri, M.A., & Nicholls, C.I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33–45. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Guerrero-Legarreta, I. (2020). Similarities and differences between river buffaloes and cattle: Health, physiological, behavioral and productivity aspects. *Journal of Buffalo Science*, 9, 92–109. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Mota-Rojas, D., Dávalos, J.L., & Minervino, A.H.H. (2021). Dual-purpose water buffalo production systems in tropical Latin America: Bases for a sustainable model. *Animals*, 11(10), 2910. <https://doi.org/10.3390/ani11102910>
- Bonilla-Landaverry, A., Pacheco-Hernández, A., & Gesly, F. (2026). Economic, social, and environmental contributions of water buffalo (*Bubalus bubalis*) production to the Sustainable Development Goals: A review. *Sustainability*, 18(11), 5216. <https://doi.org/10.3390/su18115216>
- Borghese, A., Chiariotti, A., & Barile, V.L. (2023). Buffalo in the world: Situation and perspectives. En M.S. Chauhan & N. Selokar (Eds.), *Biotechnological Applications in Buffalo Research* (pp. 3–31). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7531-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7531-7_1)
- Boz, İ., Başarır, A., Kılıç, O., Fathelrahman, E., Ulhaq, S., Shahbaz, P., Riaz, M., Kaynakçı Baydar, C., & Degafe, B. (2026). Measuring the sustainability of buffalo farms and factors influencing this sustainability in Samsun province of Türkiye. *Journal of Buffalo Science*, 15, 41–54. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2026.15.05>
- Bustillo-García, L., & Bechara Dickdan, Z. (2016). Sustentabilidad y desarrollo rural de los agroecosistemas bufalinos. *Revista Venezolana de Gerencia*, 21(73), 50–61.
- Cesarani, A., Milia, P.E., Bermann, M., Macciotta, N.P., & Lourenco, D. (2026). Review: Genomic blueprint of cow longevity. *Animal*, 101839. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2026.101839>
- Chanthakhoun, V., Wanapat, M., Kongmun, P., & Cherdthong, A. (2012). Comparison of ruminal fermentation characteristics and microbial population in swamp buffalo and cattle. *Livestock Science*, 143, 172–176. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.09.009>
- Chiariotti, A., Borghese, A., Boselli, C., & Barile, V.L. (2025). Water buffalo's adaptability to different environments and farming systems: A review. *Animals*, 15(11), 1538. <https://doi.org/10.3390/ani15111538>

- Das, A., Raju, R., & Patnaik, N.M. (2020). Present scenario and role of livestock sector in rural economy of India: A review. *International Journal of Livestock Research*, 10(11), 23–30. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20200701051344>
- Deb, G.K., Nahar, T.N., Duran, P.G., & Presicce, G.A. (2016). Safe and sustainable traditional production: The water buffalo in Asia. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 38. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00038>
- Devkota, D., Devkota, N.R., & Joshi, N.P. (2015). Gender role and buffalo rearing decision in Nepal. *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), 176–193.
- El-Debaky, H.A., Kutchy, N.A., Ul-Husna, A., Indriastuti, R., Akhter, S., Purwantara, B., & Memili, E. (2019). Review: Potential of water buffalo in world agriculture: Challenges and opportunities. *Applied Animal Behaviour Science*, 35(2), 255–268. <https://doi.org/10.15232/aas.2018-01810>
- Escarcha, J.F., Lassa, J.A., Palacpac, E.P., & Zander, K.K. (2020). Livelihoods transformation and climate change adaptation: The case of smallholder water buffalo farmers in the Philippines. *Environmental Development*, 33, 100468. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.100468>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *United Nations Decade of Family Farming 2019-2028 global action plan*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1195619/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024). FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025a). *Buffaloes*. <https://www.fao.org/dairy-production-products/dairy/buffaloes/en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025b). *Agricultural production statistics*. <https://doi.org/10.4060/CD8035EN>
- Farkas, J.Z., Kőszegi, I.R., Hoyk, E., & Szalai, Á. (2023). Challenges and future visions of the Hungarian livestock sector from a rural development viewpoint. *Agriculture*, 13(6), 1206. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061206>
- Frías, C.H.D., Sosa Olivier, J.A., Laines Canepa, J.R., Sánchez Fuentes, A., & Paz Torres, Á.D. (2026). Evaluation of biogas production from water buffalo (*Bubalus bubalis*) manure under tropical climate conditions. *AIMS Energy*, 14(1), 275–290. <https://doi.org/10.3934/energy.2026012>
- Fusco, G.M., Di Mola, I., Mori, M., Cozzolino, E., Morrone, B., Trasacco, F., & Carillo, P. (2025). From water buffalo (*Bubalus bubalis*) manure to vermicompost: Testing a sustainable approach for agriculture. *Sustainability*, 17(10), 4253. <https://doi.org/10.3390/su17104253>
- Garber, P., & Turner, S. (2023). Entangled, unraveled, and reconfigured: Human–animal relations among ethnic minority farmers and water buffalo in the northern uplands of Vietnam. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 6(4), 2472–2494. <https://doi.org/10.1177/25148486231151808>

- Georgiev, G.I., Hristakiev, L., Ruzhanova-Gospodinova, I., Georgiev, I., & Georgiev, G.D. (2023). Comparative morphological study of the locomotor apparatus of the thoracic and pelvic limbs of the buffalo (*Bubalus bubalis*) and cattle (*Bos taurus*). *Tradition and Modernity in Veterinary Medicine*, 2(13), 76–83.
- Herrero, M., Grace, D., Njuki, J., Johnson, N., Enahoro, D., Silvestri, S., & Rufino, M.C. (2013). The roles of livestock in developing countries. *Animal*, 7 (Suppl. 1), 3–18. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001954>
- Hostiou, N., Vollet, D., Benoit, M., & Delfosse, C. (2020). Employment and farmers' work in European ruminant livestock farms: A review. *Journal of Rural Studies*, 74, 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.01.008>
- International Panel of Experts on Sustainable Food Systems. (2024). *Accorralados: ¿Qué factores explican las presiones sin precedentes sobre las tierras agrícolas de todo el mundo y qué se puede hacer para garantizar el acceso equitativo a las mismas?* <http://www.ipes-food.org/>
- Işik, M., & Gül, M. (2016). Economic and social structures of water buffalo farming in Muş province of Turkey. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(7), 400–408. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000700007>
- Kabir, M.E., Monir, M.M., Islam, M.S., Alam, M.J., & Dadok, F. (2020). Existing buffalo husbandry practices at household farming level in selected coastal regions of Bangladesh. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 6(2), 255–264. <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v6i2.48057>
- Kremen, C., Iles, A., & Bacon, C. (2012). Diversified farming systems: An agroecological, systems-based alternative to modern industrial agriculture. *Ecology and Society*, 17(4), 44. <https://doi.org/10.5751/ES-05103-170444>
- Maheswarappa, N.B., Mohan, K., & Banerjee, R. (2024). Establishing water buffaloes as a promising source of red meat in pursuit of sustainable animal proteins for a better world. *Meat and Muscle Biology*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.22175/mmb.17001>
- Makarabbi, G., Sabu, A., Saxena, N., & Sharma, M.L. (2025). An analysis of knowledge, attitude and practice gaps in scientific buffalo husbandry. *PLOS One*, 20(7), e0327208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0327208>
- Minervino, A.H.H., Zava, M., Vecchio, D., & Borghese, A. (2020). *Bubalus bubalis*: A short story. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 570413. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.570413>
- Mota-Rojas, D., Braghieri, A., Álvarez-Macías, A., Serrapica, F., Ramírez-Bribiesca, E., Cruz-Monterrosa, R., Masucci, F., Mora-Medina, P., & Napolitano, F. (2021). The use of draught animals in rural labour. *Animals*, 11, 2683. <https://doi.org/10.3390/ani11092683>

- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Braghieri, A., Ghezzi, M.D., Strappini, A.C., Guerrero-Le-garreta, I., Álvarez-Macías, A., Pereira, A.M.F., Hufana, D., Domínguez, A., & Martínez-Burnes, J. (Eds.). (2024). *El búfalo de agua en las Américas: Comportamiento y productividad* (5a ed.). BM Editores. <https://bmeditores.mx/ganaderia/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-comporta-miento-y-productividad-5ta-edicion/>
- Mota-Rojas, D. (Ed.). (2025). *Water buffalo welfare, strategies to improve health, behavior, productivity, and food quality and safety*. MDPI Press. <https://doi.org/10.3390/books978-3-7258-4338-1>
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Fernandes Bettencourt, A., Bragaglio, A., Nannoni, E., Lanzoni, L., Chay-Canul, A., Álvarez-Macías, A., Domínguez-Oliva, A., Fischer, V., Abd El-Aziz, A.H., Mar-tínez-Burnes, J., Hernández-Avalos, I., Mora-Medina, P., Olmos-Hernández, A., Torres-Bernal, F., Jose, N., & Braghieri, A. (2026). Water buffalo milk: Physicochemical, nutritional properties, and potential benefits for human health. *Frontiers in Nutrition*, 13, 1742552. <https://doi.org/10.3389/fnut.2026.1742552>
- Naga, B., Sowmya, V., Sireesha, P., & Subrahmanyeswari, B. (2025). Buffalo-included farming strategy for sustainable livelihoods of farmers in Prakasam district of Andhra Pradesh. *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, 8(5), 90–92. <https://doi.org/10.33545/26180723.2025.v8.i5Sb.1958>
- Naveena, B., & Kiran, M. (2026). Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contri-bution to the global economy and nutritional security. *Animal Frontiers*, 16(1), 18–24.
- Pacheco-Hernández, A., Gesly, F., & Bonilla-Landaverry, A. (2025). Buffalo as a vision of the future: Sus-tainable agribusiness for Latin American food security. *Asian Journal of Science, Technology, Enginee-ring, and Art*, 3(3), 843–932. <https://doi.org/10.58578/ajstea.v3i3.5632>
- Padua, D.K.B., & Cuevas, A. (2021). Welfare implications of collective action among dairy buffalo farmers in selected provinces in the Philippines. *Journal of Economics, Management & Agricultural Develop-ment*, 6(2), 1–15. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.310891>
- Pal, A., & Chatterjee, P. (2013). Field level study on the buffalo bullock: An excellent draught animal. *Buffa-lo Bulletin*, 32(3), 218–230. <https://doi.org/10.14456/ku-bufbu.2013.31>
- Samad, F.A.A., Mohd Nor, N., Saad, M.Z., Salleh, A., Mohd Azmi, A.F., Jayanegara, A., Satuti, D.A., Abu Bakar, M.Z., & Abu Hassim, H. (2026). Status and potential of buffalo dairy production in Asia: A review. *Journal of Animal Science and Technology*, 68(1), 1–28. <https://doi.org/10.5187/jast.2400360>
- Sarant, L. (2025). *Water buffalo sustain rural life with milk, manure and muscle*. <https://www.iwmi.org/blogs/water-buffalo-sustain-rural-life-with-milk-manure-and-muscle/>
- Scoones, I. (2015). *Sustainable livelihoods and rural development*. Practical Action Publishing.
- Soliman, I. (2018). Role of buffalo production in sustainable development of rural regions. En K. Mattas, G. Baourakis, & C. Zopounidis (Eds.), *Sustainable Agriculture and Food Security: Cooperative Manage-ment* (pp. 21–38). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77122-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77122-9_2)

- Solís López, M.K., Méndez Espinoza, J.A., Ramírez Juárez, J., Pérez Ramírez, N., Regalado López, J., & Hernández Flores, J.Á. (2022). De la parcela al mercado: estrategias económicas de las unidades domésticas campesinas en el mercado de Santiago Mixquitla. *Región y Sociedad*, 34, e1595. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1595>
- Soysal, M.I. (2013). Anatolian water buffaloes husbandry in Turkey. *Buffalo Bulletin*, 32(1), 293–309.
- Terramoccia, S., Bartocci, S., Taticchi, A., Di Giovanni, S., Pauselli, M., Mourvaki, E., Urbani, S., & Servili, M. (2013). Use of dried stoned olive pomace in the feeding of lactating buffaloes: Effect on the quantity and quality of the milk produced. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(7), 971–980. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12627>
- Van der Ploeg, J.D. (2018). *The new peasantries: Rural development in times of globalization* (2nd ed.). Routledge.
- Viana, C.F., Lopes, A.C.C., Conrrado, R.S., Resende, F.A.M., Andrade, E.H.P., Penna, C.F.A.M., de Souza, M.R., Bastianetto, E., & Fonseca, L.M. (2025). Buffalo milk quality: A study of seasonal influence on composition and somatic cell count. *Journal of Dairy Science*, 108(3), 2215–2226. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25534>
- Wahid, H., & Rosnina, Y. (2011). Husbandry of dairy animals. En *Encyclopedia of Dairy Sciences* (pp. 772–779). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00229-6>



# Perspectivas neuroendócrinas del cortisol: Implicaciones biológicas y de bienestar animal

Daniel Mota Rojas<sup>1</sup>, Agustín Orihuela<sup>2</sup>, Ismael Hernández Avalos<sup>3</sup>, Julio Martínez Burnes<sup>4</sup>, Adriana Domínguez Oliva<sup>1</sup>, Fabiola Torres Bernal<sup>1</sup>, Brenda Reyes Sotelo<sup>1</sup>, Agatha Miranda Cortés<sup>3</sup>, Marcelo Ghezzi<sup>5</sup>

**Resumen.** La activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal implica la secreción de distintas hormonas, entre ellas el cortisol. Esta hormona desempeña un papel fundamental en la regulación de las respuestas fisiológicas y metabólicas en todas las especies de mamíferos. Asimismo, el cortisol interactúa con la melatonina para mantener el balance en el ciclo sueño-vigilia de los animales o el ciclo circadiano. Debido a su participación en diversos procesos fisiológicos, las evaluaciones del cortisol en sangre, orina, heces, pelo e incluso en estructuras de queratina han permitido evaluar situaciones de estrés y condiciones patológicas. Sin embargo, deben tomarse en cuenta las elevaciones o disminuciones fisiológicas del cortisol para interpretar correctamente sus niveles. El objetivo del presente artículo es discutir la participación del cortisol en las funciones fisiológicas de mamíferos no humanos, así como su rol al considerarse un biomarcador de estrés. De igual manera, se analizará la utilidad clínica del cortisol y los factores que influyen en la interpretación correcta de los niveles de cortisol en animales.

**Palabras clave:** Cortisol; Estrés; Ciclo circadiano.

**Abstract.** Activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis culminates in the secretion of several hormones, including cortisol. Cortisol is critical in regulating physiological and metabolic responses in all mammalian species. Cortisol also interacts with melatonin to maintain balance in the animal's circadian rhythm. Due to its involvement in various physiological processes, cortisol measurements in blood, urine, feces, hair, and even keratin structures aid in evaluating stressful events and pathological conditions. However, physiological increases or decreases in cortisol must be considered when interpreting its levels. This review aims to discuss the physiological functions of cortisol in non-human mammals and its role as a stress biomarker. Similarly, the clinical utility of cortisol and the factors influencing correct interpretation when evaluating animal cortisol levels will be analyzed.

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

<sup>2</sup> Comportamiento y bienestar animal. Investigador Emérito CONAHCYT. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

<sup>3</sup> División de Ciencias Biológicas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM. México.

<sup>4</sup> Instituto de Ecología Aplicada, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Profesor Emérito Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

<sup>5</sup> Comportamiento y Bienestar Animal. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Argentina.

\* Correspondencia: correo electrónico: dmota@correo.xoc.uam.mx

**Keywords:** *Cortisol; Stress; Circadian rhythm.*

## INTRODUCCIÓN

El cortisol y corticosterona son los glucocorticoides más importantes en los animales debido a su rol central en la regulación de las respuestas fisiológicas del organismo (Knezevic et al., 2023). Dicha molécula participa en una amplia gama de funciones biológicas como el metabolismo, el sistema inmune y la adaptación a factores de estrés (Walker y Seckl, 2001; Mârza et al., 2024). Por ejemplo, el cortisol participa en la obtención de glucosa a través de la gluconeogénesis, proceso por el cual se movilizan las reservas energéticas de los animales (Wandja-Kamgang et al., 2023). Asimismo, los glucocorticoides endógenos y exógenos se consideran entre los principales mediadores antiinflamatorios en las infecciones (Straub y Cutolo, 2016). No obstante, aunque el cortisol mejora la respuesta del organismo frente a un estresor, cuando la secreción del mismo es por periodos prolongados o en cantidades que superan niveles basales en diversas especies, el cortisol puede derivar en inmunosupresión y reactividad del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA) (Roth, 1985; Misiak et al., 2020).

El cortisol participa en otras funciones biológicas, como el estado de sueño-vigilia (Begemann et al., 2025), y es el principal regulador del ciclo circadiano, que difiere entre animales diurnos y nocturnos (Ehrlich et al., 2009). De igual manera, el cortisol es el principal modulador de la respuesta fisiológica inmediata ante un estado de estrés debido a factores ambientales, interacciones sociales o incluso a la exposición prolongada a entornos estresantes, como en el caso de animales de compañía (Hekman et al., 2012; Contreras et al., 2021; Mârza et al., 2024). En estos casos, la función metabólica del cortisol facilita

la disposición de recursos energéticos como la glucosa, lo que permite el mantenimiento de la actividad cardiovascular y respiratoria, respuestas esenciales ante situaciones de amenaza (Papadimitriou y Priftis, 2009; Haase et al., 2016).

A nivel clínico, actualmente se pueden evaluar las concentraciones de cortisol en el plasma, heces, orina, pelo y estructuras de queratina en los animales para el diagnóstico y monitorización de diversas patologías (Bolis et al., 2017). Por ejemplo, mediante la evaluación de las concentraciones de cortisol se puede dar seguimiento a alteraciones del sistema endocrino, como el síndrome de Cushing (Castillo et al., 2008). Adicionalmente, se puede evaluar el cortisol para medir la respuesta a medicamentos y su interacción con el comportamiento en animales silvestres (Escobar-Ibarra et al., 2017; Contreras et al., 2021), así como un biomarcador en diversas patologías de tipo reproductivo en animales domésticos (Dobson et al., 2002; Accorsi et al., 2008; Leblanc, 2010; Burnett et al., 2015).

Debido a la participación fisiológica del cortisol en el metabolismo y la homeostasis (Walker y Seckl, 2001), el valor diagnóstico e interpretación del cortisol deben considerar variaciones no patológicas y propias del organismo (p. ej., el ejercicio) para evitar interpretaciones poco certeras (Azmi et al., 2021; Mârza et al., 2024). El objetivo del presente artículo es discutir la participación del cortisol en las funciones fisiológicas de mamíferos no humanos, así como su rol al considerarse un biomarcador de estrés. De igual manera, se analizará la utilidad clínica del cortisol y los factores que influyen en la interpretación correcta de los niveles de cortisol en animales.

## Función fisiológica del cortisol

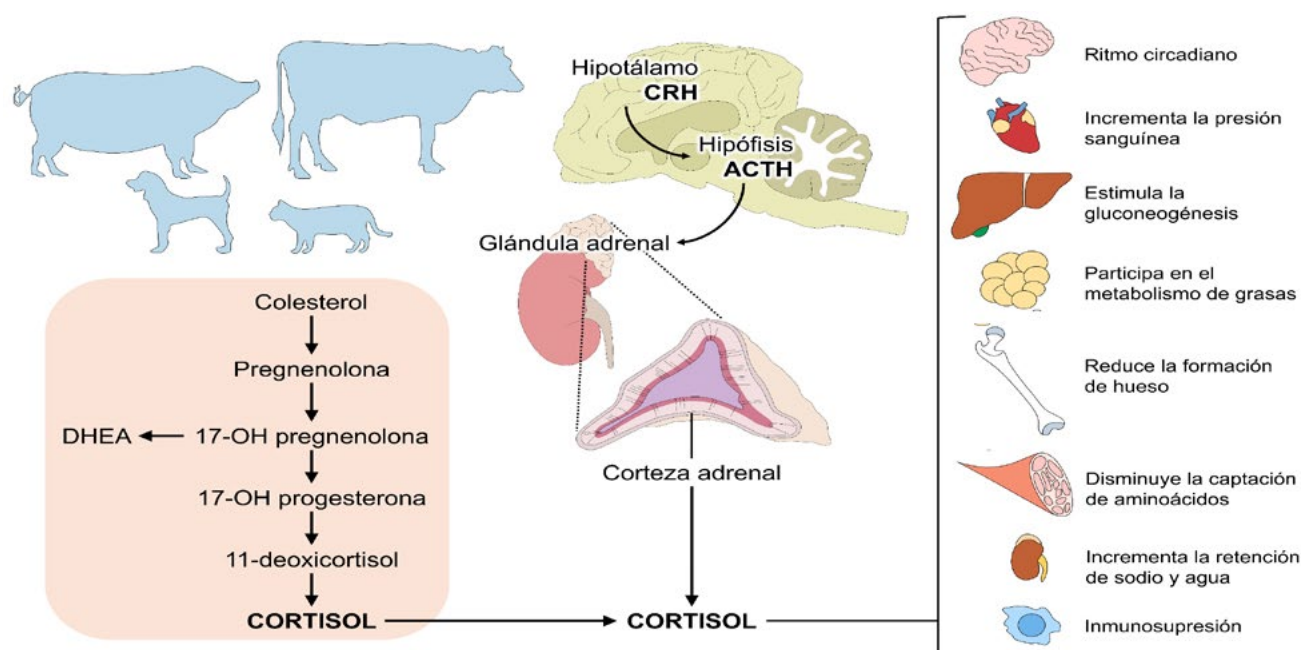
El cortisol es una hormona esteroide sintetizada a partir del colesterol en la zona fasciculada de la médula adrenal (Thau et al., 2022). La secreción de cortisol depende

de la activación del sistema hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA), en conjunto con la hormona adrenocorticotropa (ACTH) y la hormona liberadora de corticotropina (CRG) (Katsu y Baker, 2021). El cortisol es la principal hormona activa en el bovino, porcino, ovino, zorro, peces, perros y gatos (Graham y Brown, 1996; Stephen y Ledger, 2006; Carcangiu et al., 2008; Gross et al., 2015; Faught y Vijayan, 2016; Sejian et al., 2018).

A nivel fisiológico, la secreción de cortisol está regulada por un circuito de retroalimentación que involucra los centros endocrinos del HHA (Mârza et al., 2024). Los receptores para glucocorticoides se localizan en la

mayoría de los tejidos, incluyendo el sistema nervioso, el sistema inmune, el sistema cardiovascular (p. ej., presión sanguínea), el sistema respiratorio, el sistema reproductivo, el sistema musculoesquelético e integumentario (Wandja-Kamgang et al., 2023). Debido a ello, el cortisol participa en diversas funciones biológicas en los animales, entre las que se encuentran la regulación del metabolismo, la respuesta inmune y la respuesta antiinflamatoria (Le Tissier et al., 2016; Katsu y Baker, 2021; Santiago-Andres et al., 2021). El proceso de secreción y la función del cortisol se esquematizan en la Figura 1.

**Figura 1. Síntesis de y principal rol fisiológico del cortisol**



El cortisol es una hormona sintetizada a partir del colesterol. Su liberación requiere la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, el cual libera el cortisol directamente de la corteza adrenal. Las principales funciones fisiológicas del cortisol se enlistan en la parte derecha de la imagen.

En primera instancia, el cortisol participa en el metabolismo de proteínas y carbohidratos, actuando como catalítico para liberar las reservas energéticas del organismo en el hígado, el páncreas endocrino, el músculo esquelético y el tejido adiposo (Wandja-Kamgang et al., 2023). Los niveles de glucosa en sangre dependen de la influencia del cortisol, como se ha estudiado en ovejas Border Leicester×Merino no gestantes por Bassett (1963). En este estudio, las administraciones de cortisol (25 mg/día) durante 21 días incrementaron progresivamente los niveles de glucosa en sangre (hasta 100 mg/100 ml), además de estimular la ingesta de alimentos (hasta 25 g/kg). En la misma especie, se registró un efecto hiperglucémico al administrar 75 mg/día de cortisol a ovejas, con valores de glucosa de hasta 125 mg/100 ml (Bassett y Wallace, 1967). De igual manera, en ratones, los aumentos crónicos en las concentraciones de corticosterona (el principal glucocorticoide secretado en roedores) con dosis de 100 µg/ml incrementaron los depósitos grasos (1.3 g), así como las concentraciones plasmáticas de leptina (hasta 30 ng/ml), insulina (17 ng/ml) y triglicéridos (300 mg/dl) (Karatsoreos et al., 2010). Los incrementos de glucosa sanguínea están asociados a un incremento en la gluconeogénesis a partir de proteínas y a la disminución de la utilización de glucosa (Khani y Tayek, 2001), lo que puede conducir a síndrome metabólico y a modelos animales enfocados a hipercortisolemia y obesidad relacionada al estrés (Karatsoreos et al., 2010).

Estos resultados tienen relevancia clínica en animales, ya que incrementos en las concentraciones de cortisol pueden preceder a incrementos de glucosa en sangre y estos se pueden emplear como indicadores de la intensidad del estímulo –o estresor–, como lo observado en vacas lecheras Holstein-Friesian después de una cirugía abdominal (Mudron et al., 2005). En estos animales, se registraron incrementos de cortisol y de glucosa sanguí-

nea después de la omentopexia (de  $8.24 \pm 6.82$  a  $36.0 \pm 26.8$  µg/l y de  $4.06 \pm 0.73$  a  $5.97 \pm 1.80$  mmol/l, respectivamente). La misma relación entre un evento (baños con atomizador por cinco minutos), cortisol e hiperglucemia se ha documentado en gatos hembra y macho de raza mestiza por Rand et al., (2002), quienes registraron aumentos de glucosa de 83 mg/dl hasta 162 mg/dl asociados a la activación del eje HHA y a la respuesta de lucha-huida. Asimismo, Liu et al., (2021) evaluaron la exposición al frío y su relación con la activación del eje HHA y con el metabolismo de la glucosa en lechones. Después de la exposición de lechones a temperaturas de 4 °C durante 8 h, se registró un incremento progresivo de las concentraciones plasmáticas de CRH (en 5 pg/mL). De igual forma, las concentraciones de fructosamina incrementaron en 0.10 mmol/g mientras que el glicógeno hepático disminuyó en 0.8 mmol/g. Esto se debe a que el cortisol, secretado durante eventos estresantes, modifica el metabolismo para facilitar la disposición de recursos energéticos (Fujiwara et al., 1996; Christiansen et al., 2007; Levionnois y Mormède, 2014; Haase et al., 2016).

Por otra parte, el cortisol es necesario para mantener la homeostasis y regular la respuesta inmune en los animales. Como señala Jefferies (1991), las dosis a largo plazo de glucocorticoides exógenos producen efectos adversos en el sistema inmune. Sin embargo, cantidades fisiológicas de cortisol son necesarias para mantener el balance del mismo (Karatsoreos et al., 2010). Entre las funciones que el cortisol ejerce sobre el sistema inmune de mamíferos se encuentran la reducción del número de linfocitos circulantes y la inhibición de la proliferación linfocitaria (Verburg-Van Kemenade et al., 1999; Mârza et al., 2024). En conjunto con otras hormonas, como la hormona del crecimiento y prolactina, el cortisol modula la respuesta inmune disminuyendo la producción de anticuerpos y la fagocitos, y aumentando la apoptosis

(Weyts et al., 1999; Harris y Bird, 2000; Shimon-Hophy y Avtalion, 2021).

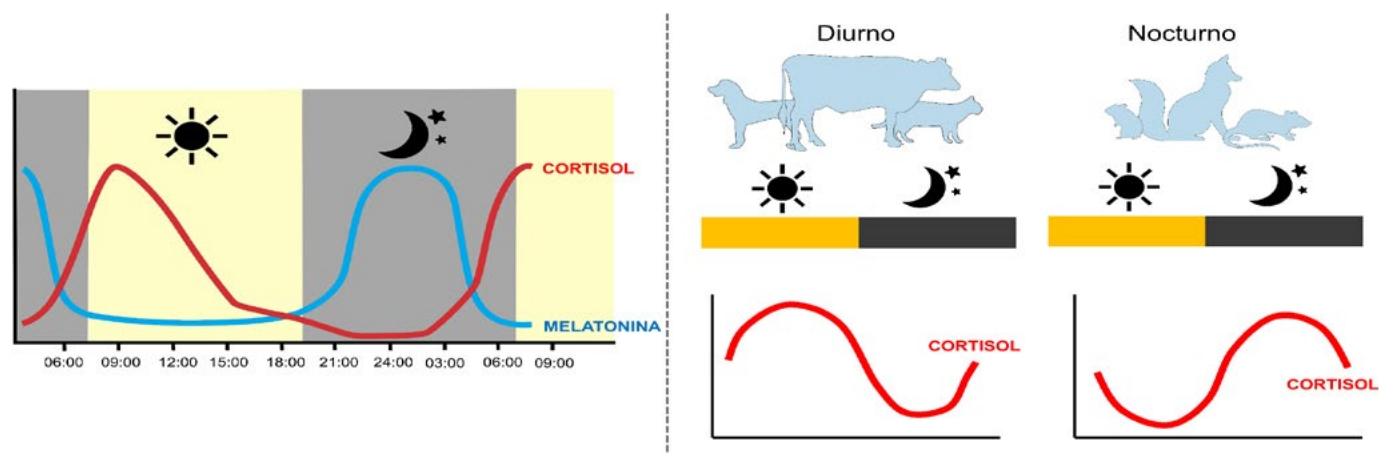
En ovejas Scottish Blackface, Rhind et al. (1999) reportaron que la hipercortisolemia (1000 nmol/l) modifica la respuesta inmune inmediata al aumentar la proliferación de linfocitos no modificados. En este estudio se determinó que, aunque el cortisol no es capaz de inhibir la respuesta inmune, la respuesta a un antígeno se reduce frente a altas concentraciones de cortisol (Sutherland et al., 2019). De manera similar, Caroprese et al. (2010) reportaron que, después del aislamiento social, las ovejas Comisana presentaron un incremento en las concentraciones de cortisol plasmático (por encima de 90 ng/ml), lo cual se acompañó de una disminución en la razón CD4/CD8 (1.87) y de mayores concentraciones séricas de interleucina (IL)-1 $\beta$  (5.07). Estos resultados se traducen a una hiperactividad del eje HHA y a una alta reactividad inmunológica que puede incrementar la respuesta inflamatoria de los animales (Misiak et al., 2020). Esto también se ha observado en vacas, en quienes niveles elevados de cortisol durante periodos prolongados generan una respuesta de inmunosupresión (Roth, 1985).

Otro de los principales roles fisiológicos del cortisol es la modulación de la respuesta inflamatoria, ya sea pro o antiinflamatoria (Yeager et al., 2011). Se sabe que la administración de glucocorticoides endógenos y exógenos es uno de los tratamientos para inhibir la inflamación (Straub y Cutolo, 2016). Por ejemplo, a nivel celular, la administración de cortisol (30 ng/ml) redujo la secreción de prostaglandina E2 (un mediador proinflamatorio), lo que sugiere una atenuación de la respuesta inflamatoria (Dong et al., 2018). No obstante, como Straub y Cutolo (2016) señalan, el rol del cortisol en condiciones de inflamación crónica puede deberse a una secreción insuficiente de cortisol, a alteraciones en los circuitos de retroalimentación o a resistencia a los glucocorticoides.

De esta manera, el cortisol tiene funciones biológicas primordiales que ayudan a los animales a mantener la homeostasis o a responder al medio en el que se desenvuelven, como se discutirá a continuación.

## El cortisol en el ciclo circadiano de los animales domésticos y silvestres

El ciclo sueño-vigilia, o ciclo circadiano, es un mecanismo fisiológico esencial cuyo objetivo principal es mantener la homeostasis para un funcionamiento óptimo del organismo. Este proceso es modulado por el núcleo supraquiasmático, situado en el hipotálamo, el cual es sensible a estímulos luminosos percibidos a través de la vía retino-hipotalámica-pineal (Reddy et al., 2023). La melatonina es conocida como la “hormona del sueño” y uno de sus principales roles es sincronizar el ciclo circadiano (Arendt y Aulinas, 2022). A su vez, la producción de melatonina depende de la percepción de la luz, que inhibe su secreción en la glándula pineal. El fotoperiodo es una parte importante del mecanismo del ciclo sueño-vigilia, ya que es el encargado de establecer el cronotipo de una especie, lo que repercute en aspectos como el comportamiento alimenticio o reproductivo debido al reconocimiento de la estacionalidad (Bradshaw y Holzapfel, 2007). Esto significa que, en animales diurnos y durante la noche, la melatonina alcanza concentraciones pico de hasta 95 pg/ml en especies de primates no humanos (*Macaca nemestrina*, *M. fascicularis* y *M. mulatta*); mientras que las concentraciones declinan a partir de las primeras horas de la mañana (Figura 2) (Zhdanova et al., 2002). El cortisol influye en el ciclo sueño-vigilia al inhibir la secreción de melatonina (Andreoli et al., 2025). En

**Figura 2. Ciclo circadiano y su relación con la melatonina y el cortisol**

En la parte izquierda de la imagen se esquematiza la relación inversamente proporcional de la melatonina y el cortisol, la cual modula el ciclo sueño-vigilia de los animales. En la parte derecha de la imagen se ejemplifican las diferencias en la secreción de cortisol entre animales diurnos y nocturnos. En ambos casos, las concentraciones de cortisol aumentan cuando la actividad de los animales es mayor.

este sentido, la producción de glucocorticoides como el cortisol y la corticosterona siguen un ritmo de 24 horas (Liu, 2024) con picos cada 90 minutos en mamíferos diurnos y nocturnos, siendo el pico más alto durante la finalización del ciclo del sueño dependiendo de si la especie es diurna, nocturna o crepuscular (Bennie et al., 2014; Oster et al., 2017; Upton et al., 2023; Begeman et al., 2025). En caballos, Aurich et al. (2015) observaron un ritmo diurno de concentraciones altas de cortisol por la mañana y con disminución a lo largo del día ( $p < 0.001$ ). Algo similar y en la misma especie fue reportado por Bohák et al., (2013), quienes investigaron las fluctuaciones de cortisol a lo largo del día (24 h). Se observaron disminuciones progresivas de cortisol sérico y salival a partir de las 12 PM hasta alcanzar la

menor concentración (15 ng/ml en sangre y 0.40 ng/ml en saliva) a las 10 PM. Los picos de concentración más altos se registraron a las 10 AM (37 y 0.63 ng/ml, respectivamente). Los resultados del cronotipo de la especie asociada a la actividad nocturna se incrementan en animales presa, que permanecen en vigilancia durante periodos de vulnerabilidad.

En el caso de los perros, Engert et al., (2018) evaluaron las concentraciones de cortisol salivar y sanguíneo durante 48 horas continuas. Los autores reportaron una disminución significativa de cortisol a partir de las 14:00 h, llegando a los valores más bajos (3.7 mmol/l en ambas muestras) alrededor de las 17:00 h. Por el contrario, al amanecer (08:00 h aproximadamente) se registró un aumento progresivo de las concentracio-

nes de cortisol, que alcanzó su pico a las 14:00 h (5.8 mmol/l). Estos hallazgos coinciden con los patrones de actividad en perros domésticos, que indican un mayor porcentaje dedicado al descanso en horarios nocturnos, mientras que en horarios diurnos se inicia la búsqueda de alimento, lo que aumenta su actividad (Schork et al., 2022).

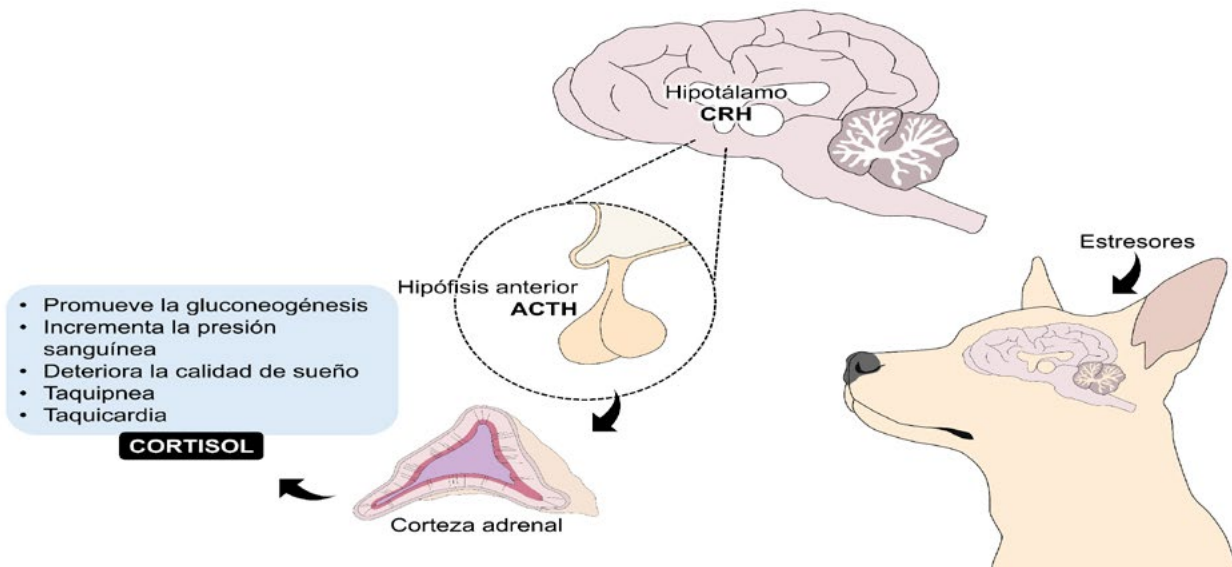
Esto significa que las concentraciones altas de melatonina deben ir acompañadas de concentraciones bajas de cortisol, y viceversa, para mantener un equilibrio en el ciclo circadiano y en el estado de sueño-vigilia de los animales. Por ejemplo, Yao et al. (2023) reportaron que la administración aguda y crónica de corticosterona a ratones durante el ciclo de sueño indujo un estado de alerta. En este estudio, mediante el electroencefalograma se observó la inhibición del estado de sueño profundo (o REM, por sus siglas en inglés) y de las ondas delta, lo que se traduce en alteraciones del sueño. Resultados similares fueron reportados en ratas Wistar adultas por Machado et al. (2013), quienes encontraron que aumentos del 204.99% en las concentraciones de corticosterona reducen el estado REM e incrementan la actividad cerebral delta (1.0 a 4.0 Hz). No obstante, los autores enfatizan la importancia de los aumentos fisiológicos de corticosterona para mantener un ciclo sueño-vigilia en los roedores, ya que reducciones de hasta 44.49% en las concentraciones de corticosterona son necesarias para que los animales se recuperen después de la privación de sueño.

Estos estudios muestran que, mientras el cortisol es una hormona necesaria para mantener el equilibrio del ciclo circadiano, aumentos en sus concentraciones alteran los patrones de sueño de los mamíferos debido a una reactividad del eje HHA asociada al estrés.

## **Eje hipotálamo-hipófisis-adrenal y el cortisol como marcador de estrés**

Los animales están expuestos a diversos factores internos y externos que pueden percibirse como estresores, lo que desencadena respuestas fisiológicas de adaptación, como la lucha y la huida (Dantzer, 2023). Estos cambios representan estresores para los cuales, la secreción de cortisol actúa como molécula de resistencia al proveer energía para aumentar el estado de alerta (Mormède et al., 2007; Womack y Barrett-Jolley, 2007; Hou et al., 2023) El circuito que asocia a los estresores con la activación del eje HHA y la liberación de cortisol se esquematiza en la Figura 3.

**Figura 3. Eje hipotálamo-hipófisis-adrenal y la secreción de cortisol durante eventos de estrés**



El cortisol se considera el principal marcador de estrés debido a su liberación por la corteza adrenal en respuesta a estresores internos (p. ej., dolor) y externos (p. ej., estrés térmico). Debido a que el cortisol es una hormona que moviliza las reservas de energía para hacer frente al estresor, el incremento en las concentraciones de cortisol se puede acompañar con taquicardia, taquipnea, hipertensión, gluconeogénesis y alteraciones del sueño.

En los animales, uno de los mayores desafíos para la homeostasis es el estrés térmico, ya sea por frío o por calor (Gómez-Prado et al., 2022; Bienboire-Frosini et al., 2023). Este se reconoce cuando la temperatura ambiental altera el equilibrio térmico de los animales, elevando o disminuyendo su temperatura por debajo de la zona termoneutral (que depende de la especie) (Bienboire-Frosini et al., 2023; Napolitano et al., 2023).

Debido a que los incrementos o descensos de la temperatura alteran la homeostasis, la secreción de cortisol se ha asociado a la percepción de estrés. Por ejemplo, en lechones Yorkshire, Chen et al., (2016) evaluaron el efecto

de la exposición a tres temperaturas ambientales (18–20 °C, 4–8 °C y control) sobre las concentraciones plasmáticas de cortisol. Los resultados mostraron que temperaturas de 4 a 8 °C aumentaron significativamente el cortisol plasmático (20%) 3 h después de la exposición al frío, así como aumentos del 30% en la interleucina (IL)-2 y en la IL-6 a las 6 h de exposición. Además, hubo una disminución significativa de entre un 15% y un 25% en la ACTH, la hormona precursora del cortisol.

Otros estresores en el ambiente inmediato de los animales influyen en la secreción de cortisol, y un aumento de sus concentraciones se asocia con la intensidad del

estímulo. Un ejemplo de ello es el aislamiento social en animales gregarios como las ovejas. En este sentido, Caroprese et al. (2010) evaluaron la relación entre las concentraciones de cortisol en sangre, el comportamiento y la respuesta inmune tras el aislamiento en un ambiente nuevo. Los resultados indicaron que, durante la prueba de aislamiento, las ovejas con  $>90$  ng/mL de cortisol exhibieron una menor latencia de actividad exploratoria y de huida (77.06 s *vs.* 101.69 s) y menos balidos (40.50 *vs.* 55.37), junto con una mayor concentración plasmática media (16%) de IL-1 $\beta$  e IL-6. Esto indica que la concentración plasmática de cortisol se asocia con la respuesta conductual e inmune de las ovejas lecheras. Lo que se puede resumir en una alta reactividad del eje HHA. De manera similar, el ambiente en animales de compañía es otro factor considerado un estresor, particularmente en aquellos que se encuentran en confinamiento, como lo demuestran Hennessy et al. (1997) en perros de refugio. Los autores reportaron que las concentraciones plasmáticas de cortisol aumentaron significativamente durante el primer día de confinamiento (más de 25 ng/ml) y no disminuyeron a pesar de la interacción positiva con humanos (caricias). Además, aunque las concentraciones de cortisol se mantuvieron elevadas hasta el tercer día, los animales con más de 9 días en el refugio mostraron una reacción moderada del HHA, reflejada en valores más bajos de cortisol plasmático (10 ng/ml).

Por consiguiente, la activación del eje HHA es una respuesta inmediata ante un estímulo desfavorable, ya sea interno o externo. La respuesta final es la secreción de cortisol, el cual presenta receptores glucocorticoides de forma ubicua. Uno de los efectos inmediatos derivados del incremento del cortisol es la mejora metabólica adaptativa que permite recuperar o mantener la homeostasis.

## Utilidad clínica del cortisol

El cortisol permite a los animales adaptarse a nuevas situaciones o retos ambientales (Wen, 1998), estos últimos dos considerados como métodos menos invasivos. Sin embargo, es importante considerar que, mientras que las mediciones de las concentraciones de cortisol en sangre, saliva, orina y heces reflejan la actividad aguda del HHA, las de pelo permiten el monitoreo de los niveles de cortisol en sangre que se acumulan durante periodos de semanas o meses y, adicionalmente, se utilizan para la determinación de metales pesados, residuos de fármacos y ADN (Morin et al., 1994).

Además del uso del cortisol como marcador de estrés, esta hormona tiene una amplia gama de aplicaciones clínicas, entre las que se encuentra el desarrollo de nuevos tratamientos médicos para enfermedades como la enfermedad de Cushing en perros. El incremento transitorio de la producción de cortisol se debe al desarrollo esporádico de corticotropinomas. Los tumores hipofisarios hereditarios desencadenan una mayor secreción de ACTH (hiperadrenocortisismo) y en consecuencia se fomenta una síntesis excesiva de glucocorticoides (Albani et al., 2018). Entre las especies domésticas, el perro representa el mayor número de casos reportados (13%). Hasta ahora se sabe que las razas de perros con mayor predisposición son las de talla pequeña como Border Terrier (1.02%), Bichón frisé (0.97%), Schnauzer miniatura (0.42), entre otras (Schofield et al., 2022). Y los gatos tienen un porcentaje de incidencia aún menor (9%) que los perros, y no existe un antecedente de predisposición por raza ni por edad (Feldman, 1994).

En este sentido, Castillo et al., (2008) realizaron el seguimiento de 40 perros diagnosticados con hiperadrenocortisismo dependiente de la hipófisis (ratio cortisol/creatinina mayor a 70 nmol/L) mediante la cuantifica-

ción de las concentraciones plasmáticas de cortisol. En los perros se probaron dos tratamientos: el grupo control al que se le administró ketoconazol a dosis de 20 mg/kg/día y el grupo de tratamiento con cabergolina a dosis de 0.07 mg/kg/semana. Los resultados mostraron que en el 42.5% de los perros tratados con cabergolina se disminuyeron las concentraciones de ACTH (precursor del cortisol) (31.4%), además de una disminución del tamaño del tumor ( $p < 0.0001$ ). Castillo et al. (2009) también evaluaron otros tratamientos con ácido retinoico para la misma enfermedad. Al determinar las variaciones diurnas de ACTH y cortisol plasmático en perros sanos y con hiperadrenocorticismismo, se observó una disminución de la concentración plasmática de ACTH tras seis meses de tratamiento (23.1 *vs.* 15.3 pmol/L) y una reducción del tamaño del adenoma en los sujetos de estudio. Los hallazgos indican que la monitorización de la actividad del HHA y, por consiguiente, de la secreción de cortisol es un medio para evaluar la efectividad de un tratamiento en animales diagnosticados con alteraciones endocrinas. Actualmente, el trilostano es el tratamiento de elección para el hiperadrenocorticismismo en perros, tanto de origen hipofisario como adrenal. Este fármaco bloquea la producción excesiva de cortisol en las glándulas adrenales, inhibiendo reversiblemente la enzima 3 beta-hidroxiesteroide deshidrogenasa y reduciendo la síntesis de cortisol, mejorando la calidad de vida y atenuando síntomas como sed excesiva, alopecia y abdomen abultado (Lemetayer y Blois, 2018; Olaimat et al., 2025).

En el caso de caballos con hiperadrenocorticismismo, Van Der Kolk et al. (1994) determinaron que la relación corticoides:creatinina, por medio del análisis de orina, es una técnica diagnóstica en la especie. En caballos con la enfermedad, el ratio fue significativamente mayor que en animales sanos ( $29 \pm 14 \times 10^{-6}$  *vs.*  $11 \pm 4.3 \times 10^{-6}$ , respectivamente). Además, el seguimiento de las concentraciones

de cortisol permite evaluar la relación del hiperadrenocorticismismo con otras enfermedades, como la diabetes mellitus. En este sentido, Miceli et al. (2017) menciona que el cortisol regula el metabolismo de carbohidratos y lípidos, contrarrestando las acciones de la insulina (Andrews y Walker, 1999). Un estudio realizado en 235 perros indicó que el porcentaje de perros con ambas enfermedades fue del 13.61% y éstos se caracterizaron por un cociente urinario creatinina-cortisol  $> 100 \times 10^{-6}$  (Miceli et al., 2017).

Por otro lado, la medición del cortisol salival constituye un complemento útil para la del cortisol en orina o en heces (Behringer y Deschner, 2017). Por ejemplo, en animales sanos las concentraciones de cortisol salival se han correlacionado con los niveles encontrados en plasma, aunque diversos factores influyen en su interpretación (Vincent y Michell, 1992 Dreschel y Granger, 2009). Cobb et al., (2016) establecieron los valores y rangos de concentración de cortisol salival y el efecto de la edad, el sexo, el color, el tamaño y el estado reproductivo en perros. Los autores establecieron que las concentraciones medias de cortisol salival en animales sanos son de 0.45 mg/dL. Sin embargo, se enfatizó que las concentraciones en perros dependen de las características individuales, del medio ambiente en el que se desenvuelvan y de los efectos experimentales en los que se desarrollan algunas investigaciones. Estos hallazgos, dan la pauta para establecer los diseños experimentales en perros y posiblemente para otras especies.

Otro de los muestreos importantes es el cortisol en heces (Sheriff et al., 2010). Uno de los usos que se le ha otorgado al cortisol en heces es su evaluación en conjunto con otras hormonas (p. ej., oxitocina) (Trut et al., 2009). En ese sentido, Gnanadesikan et al., (2024) evaluaron las concentraciones plasmáticas de oxitocina y cortisol fecal en cachorros de perro para establecer relaciones entre ambos valores. Los resultados mostraron una concen-

tración media de cortisol de 167.10 ng/g, mientras que las concentraciones de oxitocina en sangre tuvieron un promedio de 52.05 pg/ml.

En el caso de animales de fauna silvestre, las cuantificaciones de cortisol en heces resultan indispensables para monitorizar la salud de manera no invasiva. Por ejemplo, Escobar-Ibarra et al. (2017) evaluaron las concentraciones de cortisol en 24 lobos recién nacidos mediante 1005 muestras fecales para realizar un seguimiento en cada estación del año durante dos años. Los resultados mostraron una disminución de la concentración de cortisol fecal entre los años 2010 y 2011 ( $173.09 \pm 12.15$  ng/g y  $135.94 \pm 10.93$  ng/g, respectivamente). Diferencias por sexo fueron encontradas, en donde los machos presentaron concentraciones más altas que las hembras ( $214.53 \pm 13.43$  ng/g *vs.*  $121.51 \pm 10.03$  ng/g). Asimismo, se observó que los lobos de mayor edad presentaron niveles más altos que los de los jóvenes y de los adultos reproductivos. El nivel jerárquico también modificó la concentración de cortisol, con lobos de alto rango registrando los niveles más altos ( $202.03 \pm 19.94$  ng/g) en comparación con los de rango medio ( $175.33 \pm 19.94$  ng/g) y de rango bajo ( $162.06 \pm 16.16$  ng/g). La monitorización de cortisol urinario también se ha realizado en macacos Barbary por Rincon et al. (2019). En este estudio se observó que las concentraciones de cortisol en orina fueron mayores en los adultos machos que en los inmaduros. Ambos resultados muestran que el cortisol no solo se emplea como marcador de estrés, sino también como indicador fisiológico del estado reproductivo e incluso jerárquico de los animales.

Por otra parte, las concentraciones de cortisol en el pelo se han empleado para evaluar trastornos clínicos (p. ej., endometritis) y el estado de gestación en vacas lecheras. En este sentido, Burnett et al. (2015) encontraron que los animales con enfermedad clínica presentaron

concentraciones más altas de cortisol en el pelo que los animales sanos (10.7 pg/mg *vs.* 8.8 pg/mg, respectivamente). Adicionalmente, los autores reportaron que las vacas multíparas presentaron concentraciones de cortisol más altas que las primíparas (9.2 *vs.* 7.8 pg/mg). Lo anterior concuerda con los hallazgos de Dobson y Esslemont (2002) y de LeBlance (2010), quienes encontraron las mismas alteraciones en los días 42 y 84 de gestación, lo que permite establecer el hallazgo como una prevalencia de enfermedades clínicas de transición, principalmente metritis y retención placentaria, en vacas lecheras, lo cual se traduce en alteraciones reproductivas de los animales que se reflejan en las concentraciones de cortisol.

En otras especies, como el gato, se han empleado evaluaciones no invasivas mediante la cuantificación de cortisol en el pelo y en las uñas (Accorsi et al., 2008; Franchini et al., 2019; Naidenko et al., 2022). Un estudio realizado por Contreras et al. (2021) analizó la asociación entre las concentraciones de cortisol en pelo y uñas con el estilo de vida de los animales. Los resultados indicaron una asociación positiva entre concentraciones elevadas de cortisol en el pelo (4.2 pg/mg) y el uso de la caja de arena. No obstante, las concentraciones de cortisol difirieron de acuerdo con la región corporal, en donde la región ventral del cuello registró los valores más altos (17.7 pg/mg) seguida de la región lumbosacra, dorsal del cuello y abdomen (6.3, 6.2 y 5.5 pg/mg, respectivamente). Asimismo, los autores observaron que los gatos con pelaje acicalado tuvieron niveles de cortisol en pelo significativamente más bajos ( $p=0.02$ ) en comparación con los gatos con el pelo descuidado; de igual forma, indicaron que los gatos con problemas de caspa y pelo enredado poseían un nivel de cortisol en uñas elevado ( $p=0.01$ ) en comparación con aquellos de pelo saludable. Lo que demuestra las diferencias existentes entre las concentraciones de cortisol en las distintas regiones corporales. Esto se traduce en que

la condición del pelaje puede determinar el bienestar en los gatos debido a que un pelaje descuidado podría indicar condiciones médicas asociadas a dolor o estrés crónico (Rehnberg et al., 2015). Es por estas razones que el uso de pelo y recortes de garra se traduce en una herramienta diagnóstica, tal como mencionan Minh et al. (2024), que puede utilizarse para correlacionar con las condiciones de vida poco favorables en las que se desenvuelven algunos animales y representa, a nivel clínico, una forma mínimamente invasiva para evaluar el bienestar en esta especie.

Por todo lo anterior, la monitorización del cortisol permite dar seguimiento a diversas patologías de los animales, así como a estados fisiológicos, a la percepción de su entorno e incluso a su asociación con el comportamiento en diversas especies animales.

## Errores en la interpretación de cortisol

La medición del cortisol es una herramienta valiosa en la medicina veterinaria para diagnosticar y monitorizar diversas condiciones en animales. Sin embargo, la interpretación de los resultados de cortisol es compleja y debe considerar factores importantes como las variaciones fisiológicas de cortisol a lo largo del ciclo sueño-vigilia, condiciones médicas subyacentes, estados fisiológicos (p. ej., gestación), efectos farmacológicos, sustancias exógenas, entre otros (Papadimitriou y Priftis, 2009).

En primera instancia, las concentraciones de cortisol pueden alterarse debido al ejercicio, en cuyo caso, los aumentos de cortisol se consideran una respuesta normal a la actividad física (Sutherland et al., 2016; Pascual-Alonso et al., 2017). Por ejemplo, Zannoni et al. (2020) evaluaron los niveles de cortisol fecal en perros de trabajo

antes, durante y después del ejercicio físico. Los hallazgos revelaron que, del tiempo basal al primer periodo de ejercicio, los niveles de cortisol en heces incrementaron al menos 0.5 pg/mg, indicando un ajuste fisiológico natural de la concentración de cortisol a causa de la actividad.

En cambio, un descenso de cortisol puede ser normal durante el descanso o la relajación, ya que actúa como reloj biológico al presentar variaciones bien estipuladas a lo largo de los ciclos de sueño-vigilia (consultar la sección sobre el ciclo circadiano para más detalles) (Azmi et al., 2021). De este modo, es posible sugerir que el hipocortisolismo asociado a las etapas profundas del sueño puede ser malinterpretado como un signo presuntivo de trastornos como la insuficiencia adrenal o la hipocortisolemia.

Asimismo, ciertas condiciones médicas como la enfermedad de Cushing o la insuficiencia adrenal, pueden afectar los niveles de cortisol en el cuerpo, en donde el hipercortisolismo es un signo transitorio y característico del síndrome de Cushing (para más información consultar la sección previa sobre la utilidad clínica del cortisol) (Castillo et al., 2008; Márza et al., 2024). En este sentido, los niveles alterados de cortisol en el organismo pueden conducir a un diagnóstico incorrecto y poco acertado, asociado a signos similares a los del estrés o del ejercicio, si no se considera la condición subyacente. Otro ejemplo similar es la manifestación de hipocortisolismo en la insuficiencia adrenal. Esta afección es de carácter multifactorial, ya que puede ser originada por trastornos inmunes como la adenitis inmune, patologías hipotálamicas o hipofisarias, entre otras, que principalmente comprometen la síntesis de cortisol por fallas en el eje HHA o funcionamiento inadecuado de la propia glándula suprarrenal (Martin-Grace et al., 2020). También se asocia a la maduración insuficiente de los órganos participantes en el eje HHA que conduce a la restricción de la comunicación hormonal. El hipoadrenocorticismismo

se considera una enfermedad relativamente poco común en perros y de difícil diagnóstico debido a la ausencia de signos patognomónicos. En ciertas razas, como gran danés, caniche, west highland, west terrier y yorkshire, la enfermedad es hereditaria, con una prevalencia del 10%. En contraste con la población canina general, en la cual, la prevalencia se estima entre el 0.06% y el 0.28%, con una predisposición en hembras de aproximadamente el 70% y una edad promedio de 4 años (Kelch y Lynn, 1998; Lobetti y Lindquist, 2016). Por esta razón, puede confundirse o diagnosticarse como un signo de descanso o relajación si no se considera la condición subyacente y no se realiza una inspección integral a mayor profundidad que incluya exámenes diagnósticos, como los niveles de ACTH (Van Lanen y Sande, 2014)

Por otra parte, algunos medicamentos y tratamientos pueden afectar los niveles de cortisol en el cuerpo. Por ejemplo, la administración de corticosteroides exógenos generalmente ocasiona ajustes en los niveles de cortisol en el organismo como la supresión (Martin-Grace et al., 2020). La terapia de glucocorticoides suprime el eje HHA y, como resultado, podría ocasionar una insuficiencia adrenal o el desarrollo de tumoraciones a nivel hipofisarios o suprarrenales. Además, la administración prolongada de glucocorticoides se asocia con el desarrollo del síndrome de Cushing (Assié, 2018). En el Reino Unido, Schofield et al. (2022), quienes compararon el efecto de la administración de glucocorticoides en perros sobre los niveles de cortisol sérico. En el estudio se observó hipocortisolemia inducida por glucocorticoides exógenos en el tiempo basal (1.3 mg/dl) y tras la prueba de estimulación con ACTH (8.3 mg/dl). Los resultados falsos negativos en las pruebas de estimulación con ACTH representan una limitación para el diagnóstico de hipocortisolemia. Por lo tanto, durante el abordaje del paciente, la falta de exámenes complementarios como el ultrasonido, la

química sanguínea o incluso la inspección inadecuada de la historia clínica podría conducir a un diagnóstico poco acertado.

Otra condición patológica que puede asociarse a la hipercortisolemia es el sobrepeso u obesidad. Esto se debe a la inflamación crónica, durante la cual el cortisol actúa como antiinflamatorio al regular la disponibilidad de glucosa en el organismo. La inflamación ocasiona la liberación y quimiotaxis de citocinas proinflamatorias como IL, factores de tumoración, interferón, entre otros (Straub y Cutolo, 2016). Estos mecanismos demandan una mayor cantidad de glucosa, por lo que el cortisol regula la movilización de energía para modular la respuesta inflamatoria adyacente. Un ejemplo es el estudio de Martin et al. (2006), en el cual observaron que, en estados basales, los perros con condición corporal de 5 (obeso) registraban valores altos de cortisol sérico, alcanzando hasta  $109 \pm 22$  nm, en contraste con el peso ideal o 3 ( $<72 \pm 17$  nm). De este modo, basándonos en la evidencia anterior, es posible sugerir la relevancia de evaluaciones clínicas integrales que incluyan exámenes complementarios, con el objetivo de aportar un panorama amplio al médico veterinario y un acercamiento acertado al diagnóstico.

La producción de cortisol también puede verse influida por factores como la edad (Turner et al., 2006), el sexo y el estado físico del animal (Reimers et al., 1990) 3,5,3'-triiodothyronine (T3. En los animales jóvenes se registran niveles de cortisol más altos que en los adultos debido a la maduración del eje HHA. En mamíferos, la madurez y otras funciones sexuales están dominadas por sistemas endocrinos y neurológicos, como el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (HHG), que está íntimamente relacionado con la glándula pineal. La liberación de melatonina regula la madurez sexual a través de la unión con receptores específicos a nivel HHG, por lo que los niveles de cortisol pueden incrementar durante el

crecimiento, madurez sexual y estados fisiológicos como el parto (Shi et al., 2013). De igual manera, Reimers et al., (1990) 3,5,3'-triiodothyronine (T3 reportaron diferencias en los niveles de cortisol sérico entre sexo, talla/raza y edad de perros. Las razas de talla pequeña registraron niveles promedio de cortisol más altos (0.27 mg/dl por encima). También se registraron variaciones entre sexo, en donde las hembras obtuvieron las concentraciones más altas que los machos (0.93 mg/dl y 0.89 mg/dl, respectivamente). Con respecto a la edad, los niveles más altos (1.13 mg/dl) se presentan en perros entre los 6 y 12 meses de edad, lo cual corresponde a la edad de maduración sexual y crecimiento activo, ya que los perros de edades más tempranas (de 1 semana a 6 meses) registraron valores promedio de hasta 0.56 mg/dl por debajo. Así también, Monguillo et al. (2014) observaron la diferencia en la concentración de cortisol sérico de perros pre-puber (<6 meses), peri-puber (6 meses a 2 años, antes de la madurez sexual), adultos jóvenes (2-5 años), adulto (5-8 años) y geronte (>8 años). Los hallazgos revelaron que los niveles séricos de cortisol más altos se encontraron en animales con edad correspondiente a la madurez sexual (pre y peri puber) (38 nMol/L), seguidos de las concentraciones registradas durante los primeros años de vida hasta la edad adulta joven (28-35 nmol/l). En contraste, los perros gerontes tuvieron niveles por debajo a 20 nmol/l. En el mismo estudio se registraron diferencias según el sexo, siendo las hembras intactas las que presentaron los picos más elevados de cortisol sérico, en contraste con las hembras ovariectomizadas y las enteras, que presentaron valores por debajo de 20 nMol/L. Adicionalmente, se han encontrado diferencias entre especies de mamíferos, ya que se sabe que la maduración del eje HHA en perros y cerdos ocurre a una edad más corta (24 h posnatales) en comparación con especies como el cobayo (al menos 1 semana posnatal) y ratas (3 días posnatales) (Muelheims et al., 1973).

De esta manera, durante el abordaje del paciente, se deben considerar las variaciones naturales del nivel de cortisol en el organismo, con el objetivo de obtener un diagnóstico certero y evitar comprometer la calidad de vida del paciente. Esto, con ayuda de una historia clínica panorámica e integral, una inspección física en profundidad y análisis complementarios que orienten al médico en su diagnóstico presuntivo.

## CONCLUSIONES

El cortisol es una molécula activa, fundamental en diversos procesos fisiológicos y en la respuesta a estresores. Su secreción se asocia con la activación del eje HHA, ya que el cortisol facilita la movilización de recursos energéticos esenciales para desencadenar una respuesta adecuada ante factores de estrés.

La monitorización de los niveles de cortisol en plasma, saliva, heces, orina, pelo y estructuras de queratina proporciona una forma confiable de evaluar la actividad del eje HHA. Esto ayuda a establecer correlaciones con otros biomarcadores para hacer seguimiento de los tratamientos en enfermedades endocrinas o para evaluar el estado fisiológico de animales domésticos y de la fauna silvestre. No obstante, el abordaje del paciente durante las pruebas diagnósticas o la inspección física debe considerar variaciones propias de factores intrínsecos del paciente como la edad, sexo, peso, estado fisiológico, así como alteraciones provocadas por el manejo durante la consulta, el transporte y el entorno que conducen a ajustes compensatorios en los niveles de cortisol. De este modo, la implementación de pruebas diagnósticas complementarias que amplíen el panorama del médico optimiza la objetividad de las mediciones de cortisol en animales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Accorsi, P. A., Carloni, E., Valsecchi, P., Viggiani, R., Gamberoni, M., Tamanini, C., y Seren, E. (2008). Cortisol determination in hair and faeces from domestic cats and dogs. *General and Comparative Endocrinology*, 155(2), 398–402. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2007.07.002>
- Albani, A., Perez-Rivas, L. G., Reincke, M., y Theodoropoulou, M. (2018). Pathogenesis of Cushing disease: An update on the genetics of corticotropinomas. *Endocrine Practice*, 24(10), 907–914. <https://doi.org/10.4158/EP-2018-0111>
- Andreadi, A., Andreadi, S., Todaro, F., Ippoliti, L., Bellia, A., Magrini, A., Chrousos, G. P., y Lauro, D. (2025). Modified cortisol circadian rhythm: The hidden toll of night-shift work. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(5), 2090. <https://doi.org/10.3390/ijms26052090>
- Andrews, R. C., y Walker, B. R. (1999). Glucocorticoids and insulin resistance: *Old hormones, new targets*. *Clinical Science*, 96(5), 513–523. <https://doi.org/10.1042/CS0960513>
- Arendt, J., y Aulinas, A. (2022). Physiology of the pineal gland and melatonin. *Endotext*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK550972/>
- Assié, G. (2018). Genomic insights into Cushing syndrome. *Annales d'Endocrinologie*, 79(3), 119–122. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2018.03.011>  
<https://doi.org/10.1016/J.ANDO.2018.03.011>
- Aurich, J., Wulf, M., Ille, N., Erber, R., von Lewinski, M., Palme, R., y Aurich, C. (2015). Effects of season, age, sex, and housing on salivary cortisol concentrations in horses. *Domestic Animal Endocrinology*, 52, 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2015.01.003>
- Azmi, N. A. S. M., Juliana, N., Azmani, S., Effendy, N. M., Abu, I. F., Teng, N. I. M. F., y Das, S., 2021. Cortisol on circadian rhythm and its effect on cardiovascular system. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2): 676. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18020676>
- Bassett, J.M., 1963. The influence of cortisol on food intake and glucose metabolism in sheep. *Journal of Endocrinology*, 26(4):539–553. <https://doi.org/10.1677/joe.0.0260539>
- Bassett, J.M., y Wallace, A.L.C., 1967. Influence of cortisol on plasma insulin in the sheep. *Diabetes*, 16(8):566–571. <https://doi.org/10.2337/diab.16.8.566>
- Begemann, K., Rawashdeh, O., Olejniczak, I., Pilorz, V., Vinícius, L., De Assis, M., Osorio-Mendoza, J., & Oster, H., 2025. Endocrine regulation of circadian rhythms. *Npj Biological Timing and Sleep*, 2(1):1–9. <https://doi.org/10.1038/s44323-025-00024-6>
- Behringer, V., & Deschner, T., 2017. Non-invasive monitoring of physiological markers in primates. *Hormones and Behavior*, 91:3–18. <https://doi.org/10.1016/J.YHBEH.2017.02.001>

- Bennie, J. J., Duffy, J. P., Inger, R., y Gaston, K. J., 2014. Biogeography of time partitioning in mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(38):13727–13732. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1216063110>,
- Bienboire-Frosini, C., Wang, D., Marcet-Rius, M., Villanueva-García, D., Gazzano, A., Domínguez-Oliva, A., Olmos-Hernández, A., Hernández-Ávalos, I., Lezama-García, K., Verduzco-Mendoza, A., Gómez-Prado, J., y Mota-Rojas, D., 2023. The role of brown adipose tissue and energy metabolism in Mammalian Thermoregulation during the Perinatal Period. *Animals*, 13(13):2173. <https://doi.org/10.3390/ani13132173>
- Bohák, Z., Szabó, F., Beckers, J. F., Melo de Sousa, N., Kutasi, O., Nagy, K., y Szenci, O., 2013. Monitoring the circadian rhythm of serum and salivary cortisol concentrations in the horse. *Domestica animal endocrinology*, 45(1):38–42. <https://doi.org/10.1016/J.DOMANIEND.2013.04.001>
- Bolis, B., Prandi, A., Rota, A., Faustini, M., y Veronesi, M. C., 2017. Cortisol fetal fluid concentrations in term pregnancy of small-sized purebred dogs and its preliminary relation to first 24 hours survival of newborns. *Theriogenology*, 88:264–269. <https://doi.org/10.1016/J.THERIOGENOLOGY.2016.09.037>
- Bradshaw, W. E., y Holzapfel, C. M., 2007. Evolution of animal photoperiodism. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38:1–25. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.37.091305.110115/CITE/REFWORKS>
- Burnett, T. A., Madureira, A. M. L., Silper, B. F., Tahmasbi, A., Nadalin, A., Veira, D. M., y Cerri, R. L. A., 2015. Relationship of concentrations of cortisol in hair with health, biomarkers in blood, and reproductive status in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(7):4414–4426. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8871>
- Carcangiu, V., Vacca, G. M., Parmeggiani, A., Mura, M. C., Pazzola, M., Dettori, M. L., y Bini, P. P., 2008. The effect of shearing procedures on blood levels of growth hormone, cortisol and other stress haematochemical parameters in Sarda sheep. *Animal*, 2(4):606–612. <https://doi.org/10.1017/S1751731108001651>
- Caroprese, M., Albenzio, M., Marzano, A., Schena, L., Annicchiarico, G., y Sevi, A., 2010. Relationship between cortisol response to stress and behavior, immune profile, and production performance of dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 93(6):2395–2403. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2604>
- Castillo, V. A., Gómez, N. V., Lalia, J. C., Cabrera Blatter, M. F., y García, J. D., 2008. Cushing's disease in dogs: Cabergoline treatment. *Research in Veterinary Science*, 85(1): 26–34. <https://doi.org/10.1016/J.RVSC.2007.08.009>
- Castillo, V., Cabrera B. M., Gómez, N., Sinatra, V., Gatelli, M., Ghersevich, M., 2009. Diurnal ACTH and plasma cortisol variations in healthy dogs and in those with pituitary-dependent Cushing's syndrome before and after treatment with retinotic acid. *Research in Veterinary Science*, 86:223-229. <http://doi.org/10.1016/j.rvsc.2008.06.006>
- Chen, Y., Stookey, J., Arsenault, R., Scruten, E., Griebel, P., y Napper, S., 2016. Investigation of the physiological, behavioral, and biochemical responses of cattle to restraint stress. *Journal of Animal Science*, 94(8): 3240–3254. <https://doi.org/10.2527/JAS.2016-0549>
- Christiansen, J. J., Djurhuus, C. B., Gravholt, C. H., Iversen, P., Christiansen, J. S., Schmitz, O., Weeke, J., Jørgensen, J. O. L., y Møller, N., 2007. Effects of Cortisol on Carbohydrate, Lipid, and Protein Metabolism: Studies of

- Acute Cortisol Withdrawal in Adrenocortical Failure. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 92(9): 3553–3559. <https://doi.org/10.1210/JC.2007-0445>
- Cobb, M. L., Iskandarani, K., Chinchilli, V. M., y Dreschel, N. A., 2016. A systematic review and meta-analysis of salivary cortisol measurement in domestic canines. *Domestic Animal Endocrinology*, 57: 31–42. <https://doi.org/10.1016/J.DOMANIEND.2016.04.003>
- Comai, S., y Gobbi, G., 2024. Melatonin, Melatonin Receptors and Sleep: Moving Beyond Traditional Views. *Journal of Pineal Research*, 76(7):e13011. <https://doi.org/10.1111/JPL.13011>,
- Comin, A., Peric, T., Corazzin, M., Veronesi, M. C., Meloni, T., Zufferli, V., Cornacchia, G., y Prandi, A., 2013. Hair cortisol as a marker of hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation in Friesian dairy cows clinically or physiologically compromised. *Livestock Science*, 152(1): 36–41. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2012.11.021>
- Contreras, E. T., Vanderstichel, R., Hovenga, C., y Lappin, M. R., 2021. Evaluation of hair and nail cortisol concentrations and associations with behavioral, physical, and environmental indicators of chronic stress in cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 35(6): 2662–2672. <https://doi.org/10.1111/JVIM.16283>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Dantzer, B., 2023. Frank Beach Award Winner: The centrality of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in dealing with environmental change across temporal scales. *Hormones and Behavior*, 150: 105311. <https://doi.org/10.1016/J.YHBEH.2023.105311>
- Dobson, H., Dick, R. J., 2002. Stress and its effects on fertility of the dairy cow. *Advances in Dairy Technology*, 14: 193.
- Dong, J., Li, J., Cui, L., Wang, Y., Lin, J., Qu, Y., y Wang, H., 2018. Cortisol modulates inflammatory responses in LPS-stimulated RAW264.7 cells via the NF- $\kappa$ B and MAPK pathways. *BMC Veterinary Research*, 14(1):30. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1360-0>
- Dreschel, N. A., y Granger, D. A., 2009. Methods of collection for salivary cortisol measurement in dogs. *Hormones and Behavior*, 55(1): 163–168. <https://doi.org/10.1016/J.YHBEH.2008.09.010>
- Feldman, E.C., y Niel, R.W., 1994. Comparative aspects of Cushing's syndrome in dogs and cats. *Endocrinology Metabolic Clinic North America*, 23(3): 671–691.
- Ehrlich, I., Humeau, Y., Grenier, F., Ciochi, S., Herry, C., y Lüthi, A., 2009. Amygdala Inhibitory Circuits and the Control of Fear Memory. In *Neuron*, 62 (6):757–771. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.05.026>
- Engert, L. C., Weiler, U., Pfaffinger, B., Stefanski, V., y Schmucker, S. S., 2018. Diurnal rhythms in peripheral blood immune cell numbers of domestic pigs. *Developmental & Comparative Immunology*, 79: 11–20. <https://doi.org/10.1016/J.DCI.2017.10.003>
- Escobar-Ibarra, I., Mayagoitia-Novales, L., Alcántara-Barrera, A., Cerda-Molina, A. L., Mondragón-Ceballos, R., Ramírez-Necoechea, R., y Alonso-Spilsbury, M., 2017. Long-term quantification of faecal glucocorticoid metabolite concentrations reveals that Mexican grey wolves may habituate to captivity. *The European Zoological Journal*, 84(1): 311–320. <https://doi.org/10.1080/24750263.2017.1332111>

- Escribano, D., Contreras-Jodar, A., López-Arjona, M., Cerón, J. J., Fàbrega, E., Aymerich, P., y Dalmau, A., 2023. Changes in cortisol and cortisone in hair of pigs reared under heat stress conditions. *Frontiers in Veterinary Science*, 10:1156480. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2023.1156480/BIBTEX>
- Faught, E., y Vijayan, M. M., 2016. Mechanisms of cortisol action in fish hepatocytes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 199:136–145. <https://doi.org/10.1016/J.CBPB.2016.06.012>
- Forslund, K. B., Ljungvall, Ö. A., y Jones, B. V., 2010. Low cortisol levels in blood from dairy cows with ketosis: A field study. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 52(1): 1–6. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-52-31/TABLES/3>
- Franchini, M., Prandi, A., Filacorda, S., Pezzin, E. N., Fanin, Y., y Comin, A., 2019. Cortisol in hair: a comparison between wild and feral cats in the north-eastern Alps. *European Journal of Wildlife Research*, 65(6): 1–12. <https://doi.org/10.1007/S10344-019-1330-2>
- Fujiwara, T., Cherrington, A. D., Neal, D. N., y McGuinness, O. P., 1996. Role of cortisol in the metabolic response to stress hormone infusion in the conscious dog. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 45(5): 571–578. [https://doi.org/10.1016/S0026-0495\(96\)90026-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0495(96)90026-8)
- Gnanadesikan, G. E., Bray, E. E., Cook, E. N., Levy, K. M., Douglas, L. E. L. C., Kennedy, B. S., Tecot, S. R., y MacLean, E. L., 2024. Basal plasma oxytocin & fecal cortisol concentrations are highly heritable and associated with individual differences in behavior & cognition in dog puppies. *Hormones and Behavior*, 165: 105612. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2024.105612>
- Gómez-Prado, J., Pereira, A.M.F., Wang, D., Villanueva-García, D., Domínguez-Oliva, A., Mora-Medina, P., Hernández-Avalos, I., Martínez-Burnes, J., Casas-Alvarado, A., Olmos-Hernández, A., Ramírez-Necoechea, R., Verduzco-Mendoza, A., Hernández, A., Torres, F., y Mota-Rojas, D., 2022. Thermoregulation mechanisms and perspectives for validating thermal windows in pigs with hypothermia and hyperthermia: An overview. *Frontiers in Veterinary Science*, 9:1023294. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023294>
- Graham, L. H., y Brown, J. L., 1996. Cortisol metabolism in the domestic cat and implications for non-invasive monitoring of adrenocortical function in endangered felids. *Zoo Biology*, 15(1): 71–82. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2361\(1996\)15:1<71::AID-ZOO7>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2361(1996)15:1<71::AID-ZOO7>3.0.CO;2-9)
- Gross, J. J., Wellnitz, O., y Bruckmaier, R. M., 2015. Cortisol secretion in response to metabolic and inflammatory challenges in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 93(7): 3395–3401. <https://doi.org/10.2527/JAS.2015-8903>
- Haase, C. G., Long, A. K., y Gillooly, J. F., 2016. Energetics of stress: linking plasma cortisol levels to metabolic rate in mammals. *Biology Letters*, 12(1). <https://doi.org/10.1098/RSBL.2015.0867>
- Harris, J., y Bird, D.J., 2000. Modulation of the fish immune system by hormones. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 77(3–4):163–176. [https://doi.org/10.1016/S0165-2427\(00\)00235-X](https://doi.org/10.1016/S0165-2427(00)00235-X)
- Hay, M., Vulin, A., Génin, S., Sales, P., y Prunier, A., 2003. Assessment of pain induced by castration in piglets: behavioral and physiological responses over the subsequent 5 days. *Applied Animal Behaviour Science*, 82(3):201–218. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(03\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00059-5)

- Hekman, J. P., Karas, A. Z., y Dreschel, N. A., 2012. Salivary cortisol concentrations and behavior in a population of healthy dogs hospitalized for elective procedures. *Applied Animal Behaviour Science*, 141(3–4):149–157. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2012.08.007>
- Hennessy, M., 1997. Plasma Cortisol Levels of Dogs at a County Animal Shelter. *Physiology & Behavior*, 62(3):485–490. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(97\)80328-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(97)80328-9)
- Hou, W., Huang, S., Li, L., Guo, X., He, Z., Shang, S., Jia, Z., Zhang, L., Qu, Y., Huang, C., Li, Y., Li, Y., Lv, Z., y Tai, F., 2023. Oxytocin treatments or activation of the paraventricular nucleus-the shell of nucleus accumbens pathway reduce adverse effects of chronic social defeat stress on emotional and social behaviors in Mandarin voles. *Neuropharmacology*, 230:109482. <https://doi.org/10.1016/j.neuripharm.2023.109482>
- Huzzey, J. M., Nydam, D. V., Grant, R. J., y Overton, T. R., 2011. Associations of prepartum plasma cortisol, haptoglobin, fecal cortisol metabolites, and nonesterified fatty acids with postpartum health status in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(12):5878–5889. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3391>
- Jefferies, W.M., 1991. Cortisol and immunity. *Medical Hypotheses*, 34(3):198–208. [https://doi.org/10.1016/0306-9877\(91\)90212-H](https://doi.org/10.1016/0306-9877(91)90212-H)
- Karatsoreos, I.N., Bhagat, S.M., Bowles, N.P., Weil, Z.M., Pfaff, D.W., y McEwen, B.S., 2010. Endocrine and Physiological Changes in Response to Chronic Corticosterone: A Potential Model of the Metabolic Syndrome in Mouse. *Endocrinology*, 151(5):2117–2127. <https://doi.org/10.1210/en.2009-1436>
- Katsu, Y., y Baker, M.E., 2021. Cortisol. In H. Ando, K. Ukena, y S. Nagata (Eds.), *Handbook of Hormones* (pp. 947–949). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820649-2.00261-8>
- Kelch, WJ; Lynn, RC; Smith, CA; New, J., 1998. Canine hypoadrenocorticism (Addison's disease). *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 20(8):921–935.
- Khani, S., y Tayek, J.A., 2001. Cortisol increases gluconeogenesis in humans: its role in the metabolic syndrome. *Clinical Science*, 101(6):739. <https://doi.org/10.1042/CS20010180>
- Knezevic, E., Nenic, K., Milanovic, V., y Knezevic, N. N., 2023. The Role of Cortisol in Chronic Stress, Neurodegenerative Diseases, and Psychological Disorders. *Cells*, 12(23):2726. <https://doi.org/10.3390/cells12232726>
- Le Tissier, P., Campos, P., Lafont, C., Romanò, N., Hodson, D. J., y Mollard, P., 2016. An updated view of hypothalamic–vascular–pituitary unit function and plasticity. *Nature Reviews Endocrinology*, 13(5):257–267. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.193>
- Leblanc, S., 2010. Monitoring Metabolic Health of Dairy Cattle in the Transition Period. *Journal of Reproduction and Development*, 56(S):S29–S35. <https://doi.org/10.1262/JRD.1056S29>
- Lemetayer, J., Blois, S., 2018. Update on the use of trilostane in dogs. *The Canadian Veterinary Journal. La revue vétérinaire canadienne*, 59(4): 397–407.
- Levionnois, O. L., y Mormède, P., 2014. Means of reducing pain in farm animals. *Advances in Animal Biosciences*, 5(3):333–342. <https://doi.org/10.1017/S2040470014000211>
- Liu, P. Y., 2024. Rhythms in cortisol mediate sleep and circadian impacts on health. *Sleep*, 47(9):1–3. <https://doi.org/10.1093/SLEEP/ZSAE151>

- Liu, Y., Xu, B., Hu, Y., Liu, P., Lian, S., Lv, H., Yang, Y., Ji, H., Yang, H., Liu, J., Yao, R., & Li, S., 2021. O-GlcNAc / Akt pathway regulates glucose metabolism and reduces apoptosis in liver of piglets with acute cold stress. *Cryobiology*, 100:125–132. <https://doi.org/10.1016/J.CRYOBIOL.2021.02.008>
- Lobetti, R., y Lindquist, E., 2016. Sonographic Parameters of Adrenal Glands in Dogs With and Without Hypoadrenocorticism. *Advances in Small Animal Medicine and Surgery*, 29(11):1–2. <https://doi.org/10.1016/J.ASAMS.2016.11.001>
- Machado, R.B., Tufik, S., y Suchecki, D., 2013. Role of corticosterone on sleep homeostasis induced by REM sleep deprivation in rats. *PLoS One*, 8(5):e63520. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063520>
- Martin, L.J.M., Siliart, S., Dumon, H.J.W. y Nguyen, P.G., 2006. Hormonal disturbances associated with obesity in dogs. *Unite de Nutrition et Endocrinologie, Ecole Nationale Vétérinaire*, 90:355–360.
- Martin-Grace, J., Dineen, R., Sherlock, M., y Thompson, C. J., 2020. Adrenal insufficiency: Physiology, clinical presentation and diagnostic challenges. *Clinica Chimica Acta; International Journal of Clinical Chemistry*, 505:78–91. <https://doi.org/10.1016/J.CCA.2020.01.029>
- Mârza, S. M., Munteanu, C., Papuc, I., Radu, L., Diana, P., y Purdoi, R. C., 2024. Behavioral, Physiological, and Pathological Approaches of Cortisol in Dogs. *Animals*, 14(23):3536. <https://doi.org/10.3390/ani14233536>
- Miceli, D. D., Pignataro, O. P., y Castillo, V. A., 2017. Concurrent hyperadrenocorticism and diabetes mellitus in dogs. *Research in Veterinary Science*, 115:425–431. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.07.026>
- Minh, P. Q. A., Nampimoon, T., Sirirut, S., Kalandakanond-Thongsong, S., y Benjanirut, C., 2024. Potential of nail cortisol for welfare assessment in shelter and owned cats. *Applied Animal Behaviour Science*, 280:106422. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106422>
- Misiak, B., Łoniewski, I., Marlicz, W., Frydecka, D., Szulc, A., Rudzki, L., y Samochowiec, J., 2020. The HPA axis dysregulation in severe mental illness: Can we shift the blame to gut microbiota?. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 102:109951. <https://doi.org/10.1016/j.pnpb.2020.109951>
- Morin, P. A., Wallis, J., Moore, J. J., y Woodruff, D. S., 1994. Paternity exclusion in a community of wild chimpanzees using hypervariable simple sequence repeats. *Molecular Ecology*, 3(5):469–478. <https://doi.org/10.1111/J.1365-294X.1994.TB00125.X>;JOURNAL:JOURNAL:1365294X;WGROU:STRING:PUBLICATI  
ON
- Mormède, P., Andanson, S., Aupérin, B., Beerda, B., Guémené, D., Malmkvist, J., Manteca, X., Manteuffel, G., Prunet, P., van Reenen, C. G., Richard, S., y Veissier, I., 2007. Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology & Behavior*, 92(3):317–339. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.12.003>
- Mudron, P., Rehage, J., Sallmann, H.P., Höltershinken, M., y Scholz, H., 2005. Stress response in dairy cows related to blood glucose. *Acta Veterinaria Brno*, 74:37–42.
- Muelheims, G. H., Kinsella, R. A., y Francis, F. E., 1973. Maturity of The Pituitary-Adrenal Axis in The New-born Dog. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 143(4):1197–1200. <https://doi.org/10.3181/00379727-143-37500/PDF>

- Naidenko, S. V., Alekseeva, G. S., Klyuchnikova, P. S., y Erofeeva, M. N., 2022. Application of Felid Hair for Non-Invasive Tracking of Animal Reproductive Status and Adrenal Activity. *Animals*, 12(20):2792. <https://doi.org/10.3390/ani12202792>
- Napolitano, F., De Rosa, G., Chay-Canul, A., Álvarez-Macías, A., Pereira, A.M.F., Bragaglio, A., Mora-Medina, P., Rodríguez-González, D., García-Herrera, R., Hernández-Ávalos, I., Domínguez-Oliva, A., Pacelli, C., Sabia, E., Casas-Alvarado, A., Reyes-Sotelo, B., y Braghieri, A., 2023. The Challenge of Global Warming in Water Buffalo Farming: Physiological and Behavioral Aspects and Strategies to Face Heat Stress. *Animals*, 13(19):3103. <https://doi.org/10.3390/ani13193103>
- Negrão, J. A., Porcionato, M. A., De Passillé, A. M., y Rushen, J., 2004. Cortisol in saliva and plasma of cattle after ACTH administration and milking. *Journal of Dairy Science*, 87(6):1713–1718. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73324-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73324-X)
- Olaimat, A.R., Jafarzadehbalagafsheh, P., Gol, M., Costa, A.M., Biagini, G., Lucchi, C., 2025. Trilostane: Beyond Cushing's Syndrome. *Animals*, 15(3):415. <https://doi.org/10.3390/ani15030415>
- Oster, H., Challet, E., Ott, V., Arvat, E., de Kloet, E. R., Dijk, D. J., Lightman, S., Vgontzas, A., y Van Cauter, E., 2017. The Functional and Clinical Significance of the 24-Hour Rhythm of Circulating Glucocorticoids. *Endocrine Reviews*, 38(1):3–45. <https://doi.org/10.1210/er.2015-1080>
- Papadimitriou, A., y Priftis, K. N., 2009. Regulation of the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis. *Neuroimmunomodulation*, 16(5):265–271. <https://doi.org/10.1159/000216184>
- Pascual-Alonso, M., Miranda-de la Loma, G. C., Aguayo-Ulloa, L., Villarroel, M., Mitchell, M., y María, G. A., 2017. Thermophysiological, haematological, biochemical and behavioural stress responses of sheep transported on road. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(3):541–551. <https://doi.org/10.1111/jpn.12455>
- Rand, J.S., Kinnaird, E., Baglioni, A., Blackshwa, J., y Priest, J., 2002. Acute stress hyperglycemia in cats is associated with struggling and increased concentrations of lactate and norepinephrine. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 16:123–132.
- Reddy, S., Reddy, V., y Sharma, S., 2023. Physiology, circadian rhythm. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519507/>
- Rehnberg, L. K., Robert, K. A., Watson, S. J., y Peters, R. A., 2015. The effects of social interaction and environmental enrichment on the space use, behaviour and stress of owned housecats facing a novel environment. *Applied Animal Behaviour Science*, 169:51–61. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.06.002>
- Reimers, T. J., Lawler, D. F., Sutaria, P. M., Correa, M. T., y Erb, H. N., 1990. Effects of age, sex, and body size on serum concentrations of thyroid and adrenocortical hormones in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 51(3):454–457. <https://doi.org/10.2460/ajvr.1990.51.03.454>
- Rhind, S., Reid, H., y McMillen, S., 1999. Effects of pulsed or continuous infusion of cortisol on immune function in sheep. *Domestic Animal Endocrinology*, 16(1):1–9. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(98\)00051-4](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(98)00051-4)

- Rincon, A. V., Ostner, J., Heistermann, M., y Deschner, T., 2019. Measuring urinary cortisol and testosterone levels in male Barbary macaques: A comparison of EIA and LC-MS. *General and Comparative Endocrinology*, 281:117–125. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.05.017>
- Roth, J.A., 1985. Cortisol as Mediator of Stress-Associated Immunosuppression in Cattle. In G. Moberg (Ed.), *Animal Stress* (pp. 225–243). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7544-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7544-6_13)
- Santiago-Andres, Y., Golan, M., y Fiordeliso, T., 2021. Functional Pituitary Networks in Vertebrates. *Frontiers in Endocrinology*, 11:619352. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.619352/XML/NLM>
- Schofield, I., Brodbelt, D. C., Niessen, S. J. M., Church, D. B., Geddes, R. F., y O'Neill, D. G., 2022. Frequency and risk factors for naturally occurring Cushing's syndrome in dogs attending UK primary-care practices. *Journal of Small Animal Practice*, 63(4):265–274. <https://doi.org/10.1111/jsap.13450>
- Schork, I. G., Manzo, I. A., Beiral De Oliveira, M. R., Costa, F. V., Palme, R., Young, R. J., y de Azevedo, C. S., 2022. How environmental conditions affect sleep? An investigation in domestic dogs (*Canis lupus familiaris*). *Behavioural Processes*, 199:104662. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2022.104662>
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., y Lacetera, N., 2018. Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12(2):s431–s444. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>
- Sheriff, M. J., Krebs, C. J., y Boonstra, R., 2010. Assessing stress in animal populations: Do fecal and plasma glucocorticoids tell the same story?. *General and Comparative Endocrinology*, 166(3):614–619. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.12.017>
- Shi, L., Li, N., Bo, L., y Xu, Z., 2013. Melatonin and Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axis. *Current Medicinal Chemistry*, 20(15):2017–2031. <https://doi.org/10.2174/09298673113209990114>
- Shimon-Hophy, M., yAvtalion, R.R., 2021. Influence of chronic stress on the mechanism of the cytotoxic system in common carp (*Cyprinus carpio*). *Immunology*, 164(2):211–222. <https://doi.org/10.1111/imm.13345>
- Stephen, J. M., y Ledger, R. A., 2006. A longitudinal evaluation of urinary cortisol in kennelled dogs, *Canis familiaris*. *Physiology & Behavior*, 87(5):911–916. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.02.015>
- Straub, R. H., y Cutolo, M., 2016. Glucocorticoids and chronic inflammation. *Rheumatology*, 55(2):ii6–ii14. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kew348>
- Sutherland, M. A., Worth, G. M., Stuart, A. D., Dobbie, P. M., y Clerens, S., 2016. Effect of pre-slaughter handling, exercise and the presence of a dog on lamb welfare and meat quality. *Animal*, 10(8):1360–1367. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000197>
- Sutherland, M., Dowling, S., Shaw, R., Hickey, J., Fraser, D., Cameron, C., y Sutherland, I., 2019. Stress-Induced Immunomodulation in Low and High Reactive Sheep. *Animals*, 9(3):104. <https://doi.org/10.3390/ani9030104>
- Tardo, A. M., Del Baldo, F., Leal, R. O., Galiazzo, G., Pietra, M., Gaspardo, A., y Fracassi, F., 2023. Prevalence of eunatremic, eukalemic hypoadrenocorticism in dogs with signs of chronic gastrointestinal disease and risk of misdiagnosis after previous glucocorticoid administration. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 38(1):93. <https://doi.org/10.1111/jvim.16921>

- Thau, L., Gandhi, J., y Sharma, S., 2022. *Physiology, cortisol*. StatPearls Publishing.
- Trut, L., Oskina, I., y Kharlamova, A., 2009. Animal evolution during domestication: the domesticated fox as a model. *BioEssays*, 31(3):349–360. <https://doi.org/10.1002/bies.200800070>
- Turner, A. I., Hosking, B. J., Parr, R. A., y Tilbrook, A. J., 2006. A sex difference in the cortisol response to tail docking and ACTH develops between 1 and 8 weeks of age in lambs. *Journal of Endocrinology*, 188(3):443–449. <https://doi.org/10.1677/joe.1.06328>
- Upton, T. J., Zavala, E., Methlie, P., Kämpe, O., Tsagarakis, S., Øksnes, M., Bensing, S., Vassiliadi, D. A., Grytaas, M. A., Botusan, I. R., Ueland, G., Berinder, K., Simunkova, K., Balomenaki, M., Margaritopoulos, D., Henne, N., Crossley, R., Russell, G., Husebye, E. S., y Lightman, S. L., 2023. High-resolution daily profiles of tissue adrenal steroids by portable automated collection. *Science Translational Medicine*, 15(701):eadg8464. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.adg8464>
- Van Der Kolk, J. H., Kalsbeek, H. C., Wensing, T., y Breukink, H. J., 1994. Urinary concentration of corticoids in normal horses and horses with hyperadrenocorticism. *Research in Veterinary Science*, 56(1):126–128. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(94\)90210-0](https://doi.org/10.1016/0034-5288(94)90210-0)
- Van Lanen, K., y Sande, A., 2014. Canine Hypoadrenocorticism: Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment. *Topics in Companion Animal Medicine*, 29(4):88–95. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2014.10.001>
- Verburg-Van Kemenade, B.M.L., Nowak, B., Engelsma, M.Y., y Weyts, F.A.A., 1999. Differential effects of cortisol on apoptosis and proliferation of carp B-lymphocytes from head kidney, spleen and blood. *Fish & Shellfish Immunology*, 9(5):405–415. <https://doi.org/10.1006/fsim.1998.0197>
- Vincent, I. C., & Michell, A. R., 1992. Comparison of cortisol concentrations in saliva and plasma of dogs. *Research in Veterinary Science*, 53(3):342–345. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(92\)90137-Q](https://doi.org/10.1016/0034-5288(92)90137-Q)
- Walker, B. R., y Seckl, J. R., 2001. Cortisol Metabolism. *International Textbook of Obesity*, 241–268. <https://doi.org/10.1002/0470846739.CH18>
- Wandja-Kamgang, V., Murkwe, M., y Wankeu-Nya, M., 2023. Biological effects of cortisol. In D. L. Păun (Ed.), *Cortisol - Between Physiology and Pathology* (p. 3161). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1003161>
- Wen, B. M., 1998. Stress, adaptation, and disease allostasis and allostatic load. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 840(1):33–44. <https://doi.org/10.1111/J.1749-6632.1998.tb09546.x>
- Weyts, F.A.A., Cohen, N., Flik, G., y Verburg-van Kemenade, B.M.L., 1999, Interactions between the immune system and the hypothalamo-pituitary-interrenal axis in fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 9(1):1–20. <https://doi.org/10.1006/fsim.1998.0170>
- Womack, M. D., y Barrett-Jolley, R., 2007. Activation of paraventricular nucleus neurones by the dorsomedial hypothalamus via a tachykinin pathway in rats. *Experimental Physiology*, 92(4):671–676. <https://doi.org/10.1113/exphysiol.2007.037457>
- Yao, Z., Zhang, B.X., Chen, H., Jiang, X.W., Qu, W.M., y Huang, Z.L., 2023. Acute or Chronic Exposure to Corticosterone Promotes Wakefulness in Mice. *Brain Sciences*, 13(10):1472. <https://doi.org/10.3390/brainsci13101472>

- Yeager, M.P., Pioli, P.A., y Guyre, P.M., 2011. Cortisol Exerts bi-phasic Regulation of Inflammation in Humans. *Dose-Response*, 9(3):10–13. <https://doi.org/10.2203/dose-response.10-013.Yeager>
- Zhdanova, I.V., Geiger, D.A., Schwagerl, A.L., Leclair, O.U., Killiany, R., Taylor, J.A., Rosene, D.L., Moss, M.B., y Madras, B.K., 2002. Melatonin promotes sleep in three species of diurnal nonhuman primates. *Physiology & Behavior*, 75(4):523-529. [https://doi.org/10.1016/s0031-9384\(02\)00654-6](https://doi.org/10.1016/s0031-9384(02)00654-6)
- Zannoni, A., Pietra, M., Gaspardo, A., Accorsi, P. A., Barone, M., Turrone, S., Laghi, L., Zhu, C., Brigidi, P., y Forini, M., 2020. Non-invasive assessment of fecal stress biomarkers in hunting dogs during exercise and at rest. *Frontiers in Veterinary Science*, 7:126. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00126>.

# Alternativas biotecnológicas y sostenibles para el control de *Dactylopius opuntiae* en sistemas de cultivo de *Opuntia ficus-indica*

Guadalupe Medina Ríos<sup>1</sup>, Juan E. Barranco Florido<sup>1</sup>,  
Silvia Rodríguez Navarro<sup>1\*</sup>, Víctor H. Marín Cruz<sup>2</sup>

**Resumen.** *Dactylopius opuntiae*, “grana cochinilla silvestre del nopal”, es una plaga que afecta a *Opuntia ficus-indica*, reduciendo su productividad. El objetivo fue revisar estrategias sostenibles para su manejo. Se consultó literatura científica y técnica (2016-2025) sobre control biológico y hongos entomopatógenos. Las técnicas culturales, como poda y uso de jabones biodegradables, mostraron eficacia parcial. Los depredadores naturales representan una opción de control eficiente; sin embargo, su contribución es variable y depende de condiciones del sistema de producción, especialmente: por la presión de insecticidas (que puede afectar a enemigos naturales) y la disponibilidad de recursos y refugio (vegetación asociada, continuidad de hábitat, recursos alimenticios) que permiten sostener sus poblaciones. En México, la falta de insecticidas autorizados impulsa alternativas biológicas. Hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Fusarium incarnatum-equiseti* han alcanzado hasta 100% de mortalidad en laboratorio y pueden producirse con sustratos económicos. Por lo tanto, el manejo integrado, combinando métodos culturales, biológicos y de bajo impacto químico, es la vía más viable y sostenible para controlar *D. opuntiae*.

**Palabras clave:** Nopal; Cochinilla silvestre; Cladodio; Control biológico; Hongo entomopatógeno.

**Abstract.** *Dactylopius opuntiae*, the “wild cochineal of the cactus pear,” is a pest that affects *Opuntia ficus-indica*, reducing its productivity. The objective was to review sustainable management strategies. Scientific and technical literature (2016-2025) on biological control and entomopathogenic fungi was consulted. Cultural techniques, such as pruning and the use of biodegradable soaps, showed partial efficacy. Natural predators represent an efficient control option; however, their contribution is variable and depends on production system conditions, especially insecticide pressure (which can affect natural enemies) and the availability of resources

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, Plantel Milpa Alta, Milpa Alta, Ciudad de México, México.

\* Autor para correspondencia: snavarro@correo.xoc.uam.mx

and refuge (associated vegetation, habitat continuity, food resources) that allow their populations to be sustained. In Mexico, the lack of authorized insecticides is driving the development of biological alternatives. Entomopathogenic fungi such as *Beauveria bassiana* and *Fusarium incarnatum-equiseti* have achieved up to 100% mortality in the laboratory and can be produced using inexpensive substrates. Therefore, integrated management, combining cultural, biological and low chemical impact methods, is the most viable and sustainable way to control *D. opuntiae*.

**Keywords:** *Cactus pear*; *Wild cochineal*; *Cladode*; *Biological control*; *Entomopathogenic fungus*.

## INTRODUCCIÓN

La interacción entre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae), comúnmente conocida como cochinilla silvestre del nopal, y *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller (Cactaceae), representa un desafío significativo para la producción agrícola en regiones donde el nopal constituye un cultivo de importancia estratégica, ya sea como fuente de alimento, forraje o materia prima para la industria. El nopal, ampliamente cultivado en países como México, es una cactácea con alto valor económico, social y ecológico, ya que es resistente a condiciones áridas y semiáridas, además de tener usos culinarios, medicinales y cosméticos. Sin embargo, la infestación por *D. opuntiae* ha limitado el desarrollo sostenible del cultivo en diversas regiones del Mediterráneo, África del Norte y Sudamérica (El Aalaoui et al., 2025b).

*D. opuntiae* se alimenta mediante la succión de la savia de los cladodios del nopal, causando debilitamiento de los tejidos, clorosis, necrosis y en casos severos, la caída

prematura de frutos y cladodios. Su biología se caracteriza por un marcado dimorfismo sexual: las hembras son ápteras, sésiles y están recubiertas por una capa cerosa blanca que las protege de depredadores y condiciones ambientales adversas, mientras que los machos son alados, de vida efímera y no se alimentan, ya que su único objetivo es la fecundación (Mazzeo et al., 2019; Perales-Segovia et al., 2024).

Diversas investigaciones han reportado que *D. opuntiae* puede llegar a presentar hasta cinco generaciones anuales bajo condiciones favorables, lo que agrava su impacto sobre el cultivo (Mazzeo et al., 2019). Aunque en algunas regiones, como Sudáfrica, Australia e India, ha sido utilizada como agente de control biológico contra especies invasoras de *Opuntia*, en zonas productoras como México se considera una plaga de importancia económica, debido al bajo contenido de ácido carmínico que presenta (5%) en comparación con *D. coccus* (19-22%) (Rodríguez-Leyva et al., 2024; GMR Canarias, 2020).

La interacción entre *D. opuntiae* y *O. ficus indica* también ha despertado interés por los mecanismos de defensa química inducidos en la planta, como la emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en inglés), incluyendo terpenos y salicilato de metilo, que actúan como repelentes o como señales para atraer enemigos naturales de la plaga (Rodríguez-Leyva et al., 2024). Estos hallazgos abren nuevas oportunidades para el desarrollo de estrategias de manejo basadas en la ecología química.

El objetivo de esta revisión es proporcionar una síntesis de los enfoques en el manejo de *D. opuntiae*, considerando prácticas culturales como la poda sanitaria y la eliminación de residuos, alternativas no convencionales como el uso de jabones biodegradables, aceites vegetales y silicio orgánico, así como estrategias biológicas basa-

das en la aplicación de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, entre otros. Estas alternativas han demostrado ser eficaces en condiciones de laboratorio, con niveles de mortalidad de hasta el 100% en hembras adultas y ninfas (Ramdami et al., 2022).

Además, se destacan las implicaciones regulatorias, como la ausencia de insecticidas registrados por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), para su uso en nopal de consumo humano, lo que limita las opciones de control químico convencional y resalta la necesidad de alternativas sostenibles. En este contexto, los hongos entomopatógenos han sido estudiados como agentes de control biológico de plagas debido a su eficacia, especificidad y bajo impacto ambiental (Mascarin y Jaronski, 2016; van Lenteren et al., 2018).

## METODOLOGÍA

Para esta revisión, se realizó un análisis bibliográfico de artículos científicos, documentos técnicos, tesis de maestría entre 2016 y 2025. Consultando bases de datos académicos como *Web of Science*, *Scopus*, *CAB Abstracts*, *ELSEVIER*, *SciELO*, *ProQuest*, *One Academic*, *DOAJ*, *Google Scholar* y repositorios institucionales, las palabras clave para la búsqueda fueron: *Dactylopius opuntiae*, *Opuntia ficus-indica*, control biológico mediante microorganismos (hongos entomopatógenos), uso de enemigos naturales (principalmente depredadores), aplicación de insecticidas botánicos y productos de origen natural, prácticas culturales de manejo agronómico y la evaluación de la resistencia o tolerancia del hospedero. Los trabajos fueron seleccionados con base en su pertinencia temática, actualidad, calidad metodológica y relevancia para sistemas productivos de nopal en contextos agrícolas y semiáridos.

## RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA REFERENCIAS

A partir de la revisión de 10 bases de datos revisadas durante el periodo 2016–2025, se localizaron un total de 70 documentos, principalmente artículos científicos, así como tesis de posgrado, capítulos de libro y documentos técnicos, relacionados con alternativas biotecnológicas y sostenibles para el control de *Dactylopius opuntiae* en sistemas de cultivo de *Opuntia ficus-indica*, los temas que se presenta son: 1) *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): Taxonomía y biología, 2) Interacción entre *Dactylopius opuntiae* y *Opuntia ficus-indica*, 3) Técnicas de manejo de *Dactylopius opuntiae*, 4) Control no convencional, 5) Desafíos por el uso de insecticidas químicos, 6) Oportunidades de investigación y desarrollo.

### ***Dactylopius opuntiae* (Cockerell): Taxonomía y biología**

Las especies del género *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopidae) entre ellas *D. opuntiae*, muestran en el cuerpo de la hembra adulta un color rojo oscuro, forma ovalada y cubierto de filamentos cerosos blancos (Moussa et al., 2017, El Finti et al. 2022, FAO, 2022 y Abusharya y Ashokri (2025), Ochoa Manzo et al., 2025). Funcionando como una barrera mecánica que protege el cuerpo de la cochinilla de las condiciones adversas por cambios de temperatura y de los depredadores (Mazzeo et al., 2019, Abusharya y Ashokri (2025), Ochoa Manzo et al., 2025). Esta especie presenta diferentes metamorfosis entre macho y hem-

bra. Las hembras son hemimetábolos y los machos holometábolos, *D. opuntiae* presenta los siguientes estadios durante su ciclo: ninfa I móvil, ninfa I fija, ninfa II, pupa, macho adulto y hembra adulta (Palafox-Luna et al., 2018). El sexo de cada ninfa se determina en la etapa de ninfa de segundo estadio, después el ciclo de desarrollo y la morfología varían para machos y hembras. El macho tiene cinco estadios biológicos: huevo, ninfa, prepupa, pupa y adulto, los últimos tres estadios ninfales se desarrollan dentro de pupas (El Aalaoui y Sbaghi (2022); Alhousa et al., 2024; Asaad et al., 2025, Kakoti et al., 2023). A diferencia de Puspitasari et al., (2023) quienes señalan que los machos atraviesan seis estadios (huevo, ninfa I, ninfa II, prepupa, pupa y adulto). Just et al. (2020); Franco et al. (2022); Perales-Segovia et al. (2024); González-Román et al. (2024); Zhao et al. 2024; Remmal et al., (2025) mencionan que la hembra es sésil, áptera, redonda y con forma ovoide de 0.2 a 0.25 cm de longitud o bien 5 mm. El macho tiene un cuerpo rojizo con alas blancas, en el extremo del abdomen presenta dos filamentos blanquecinos, aparato bucal atrofiado y tiene un periodo de vida de 3 a 4 días; su finalidad es copular con la hembra y fertilizar los huevecillos. De acuerdo con (Mazzeo et al. 2019), el ciclo biológico de las hembras adultas es de 77 días, con un periodo de preoviposición de 18.8 días, ovipositando durante 21 días un promedio de 131 huevecillos; mientras que en los machos es de 43 días.

Conocer el ciclo biológico de *Dactylopius opuntiae* es fundamental para comprender su comportamiento, reproducción y desarrollo. En México, Palafox-Luna et al. (2018) describieron el desarrollo del insecto bajo condiciones controladas de invernadero. Por su parte, El Aalaoui y Sbaghi (2022) evaluaron el desarrollo en Marruecos a diferentes temperaturas,

identificando el rango de 26–32 °C como favorable para su supervivencia y desarrollo. La duración de los diferentes estadios reportada en ambos estudios se resume en la Tabla 1.

**Tabla 1. Duración del desarrollo de *Dactylopius opuntiae* reportada en diferentes estudios y condiciones ambientales**

| Estadio    | Sonora, México<br>(Palafox-Luna et al., 2018) | Marruecos 26 °C (El Aalaoui<br>y Sbaghi, 2022) | Marruecos 32 °C (El Aalaoui<br>y Sbaghi, 2022) |
|------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Incubación | 61.78 ± 24 min                                | 13.40 d                                        | 11.80 d                                        |
| Ninfa I    | ♂ 8.59 ± 1.54 d / ♀ 7.68 ± 1.49 d             | 12.37 d                                        | 9.38 d                                         |
| Ninfa II   | ♂ 7.74 ± 0.79 d / ♀ 9.07 ± 1.98 d             | ♀ 14.36 d                                      | ♀ 12.04 d                                      |
| Prepupa    | —                                             | ♂ 3.53 d                                       | ♂ 3.07 d                                       |
| Pupa       | ♂ 8.18 ± 1.05 d                               | ♂ 4.33 d                                       | ♂ 3.89 d                                       |
| Adulto     | —                                             | ♂ 5.97 d / ♀ 15.72 d                           | ♂ 4.11 d / ♀ 7.37 d                            |

Palafox-Luna et al. (2018): cría en invernadero a 23 ± 7 °C y 60 ± 20 % HR; seguimiento en cámara a 25 ± 1 °C y 40 ± 10 % HR. El Aalaoui y Sbaghi (2022): desarrollo evaluado a 26–32 °C y 65 ± 5 % HR. HR = humedad relativa; d = días; min = minutos; ♂ = macho; ♀ = hembra.

## Interacción entre *Dactylopius opuntiae* y *Opuntia ficus-indica*

Perales-Segovia et al. (2024) mostraron información sobre la interacción biológica de tipo parásito-hospedero, entre *D. opuntiae* y *O. ficus-indica*, señalando que las hembras se alimentan de la savia del nopal a lo largo de todo su desarrollo (desde huevo, ninfa hasta adulto) y los machos únicamente en sus estadios de ninfas, se alimentan de la savia de los cladodios del nopal ocasionan el debilitamiento general de la planta y de nuevos brotes, lo que provoca que sean de menor calidad y cantidad. GMR Canarias, (2020) reporta que en las Islas Canarias en España, *D. opuntiae*, una vez fijada sobre la planta, causan clorosis y necrosis en los cladodios y frutos, provocando el debilitamiento a la planta y ocasionando la caída prematura. En contraste con su papel como plaga en sistemas productivos, Hernández (2021) señala una inte-

racción diferente en Sudáfrica, Australia, Hawaii, India, Indonesia y Mauritania; donde la cochinilla del nopal al no ser considerada una plaga, ha sido aprovechada por su capacidad para dañar e invadir plantas de *D. opuntiae* y reducir su densidad de plantas, por lo que se le ha utilizado como agente de control biológico contra especies invasivas de *Opuntia*, donde no tienen valor alimenticio y de forraje. Rodríguez-Leyva et al. (2024) Montejano-Ramírez et al. (2024) estudiaron la interacción de *O. ficus-indica* con *D. opuntiae* a través de los VOC emitidos en forma de aceites esenciales. Sus resultados mostraron que la infestación induce cambios en la producción de metabolitos como el salicilato de metilo, un compuesto fenólico reconocido como volátil inducido por herbívoros, así como en terpenos como el linalol y alcoholes fenólicos como el *p*-vinilguayacol. Estos compuestos se asocian como respuesta al daño causado por la alimentación de *D. opuntiae* en los cladodios y forman parte del sistema de señales químicas de defensa de la planta, lo que sugiere

un papel dual, defensa directa frente al insecto fitófago y defensa indirecta mediante la atracción de enemigos naturales. En Cactaceae, los compuestos volátiles inducidos por herbivoría (HIPV) median defensas indirectas; en *Myrtillocactus geometrizans* y en el género *Opuntia* se ha documentado este mecanismo, donde los volátiles pueden repeler herbívoros (Callejas-Chavero et al., 2023). Además, mezclas de HIPV como metilsalicilato, trans-cariofileno y cis-3-hexenil acetato incrementan la atracción de coccinélidos depredadores (Kumar y Paul, 2025). En este sentido, los volátiles inducidos por herbivoría pueden facilitar la localización de colonias de cochinita por parte de enemigos naturales, como coccinélidos, neurópteros y dípteros al actuar al actuar como señales químicas asociadas a la interacción entre *O. ficus-indica* y *D. opuntiae* (Palafox-Luna et al. (2018)). Estas evidencias sugieren que los VOC y HIPV juegan un papel clave en los mecanismos de resistencia de *O. ficus indica* y para el diseño de estrategias de manejo de *D. opuntiae* en regiones donde constituye una plaga de importancia económica.

## Técnicas de manejo de *Dactylopius opuntiae*

En México, se tienen plantaciones comerciales de la especie *O. ficus-indica*, donde *D. opuntiae* no se considera útil para la obtención del ácido carmínico, ya que solo contiene hasta un 5%, en comparación con la especie de mayor importancia económico-productiva *D. coccus* Costa, al contener entre un 19.4 y 22.9%, por esta razón, *D. opuntiae* carece de valor comercial para la industria del carmín y su presencia en los cultivos de nopal se reconoce principalmente como un factor de daño, por lo que es considerada una plaga de importancia fitosanitaria (Ro-

dríguez et al., 2024). Para su control se tiene la presencia de enemigos naturales, las especies depredadoras más comunes en Tlanepantla, Morelos, fueron *Leucopis bellula* Willinston (Diptera: Chamaemyiidae), *Symphorobius barberi* Banks (Neuroptera: Hemerobiidae), *Laetilia coccidivora* Comstock (Lepidoptera: Pyralidae), *Hyperaspis trifurcata* Schaffer (Coleoptera: Coccinellidae), *Chilocorus cacti* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) y los parasitoides *Salpingogaster cochenillivorus* Guerin Meneville (Diptera: Syrphidae) y *Symphorobius angustus* Banks (Neuroptera: Hemerobiidae) (Mendel et al., 2024). Perales-Segovia et al. (2024), aunque no indican la región, mencionan a diferentes especies como: *Chrysoperla carnea* Stephen (Neuroptera: Chrysopidae), *Nephus timberlakei* Gordon (Coleoptera: Coccinellidae) y *Salpingogaster texana* Curran (Diptera: Syrphidae) como enemigos naturales de *D. opuntiae*. Se ha señalado a *Hyperaspis trifurcata* y *Leucopis bellula* Willinston, como depredadores que se alimentan exclusivamente de *D. opuntiae* (Mendel et al., 2020).

La presencia de depredadores naturales tiene un papel importante en el control de *D. opuntiae*, lo que destaca la importancia de su incorporación como control biológico, también promueve y conserva la biodiversidad en las plantaciones para un manejo sostenible de la plaga (Rodríguez-Leyva et al., 2024).

## Control no convencional

Perales-Segovia et al. (2024), llevaron a cabo prácticas agrícolas de forma mecánica como la poda de partes infestadas y la eliminación de residuos de cosecha logrando disminuir la incidencia de *D. opuntiae*, otra técnica consiste en un barrido manual con el apoyo de un cepillo de escoba. De acuerdo con García-Pascual et al. (2024) la

destrucción de cladodios infestados, eliminación de hospedantes alternos y manejo de cercos vivos) se reportan como prácticas de base y constituyen la primera línea de contención antes de aplicar tácticas biológicas o químicas. De manera complementaria, en ensayos realizados en Zemamra, Marruecos (El Aalaoui et al., 2025a), se ha demostrado que la combinación de poda sanitaria con tratamientos biológicos y botánicos (jabón negro marroquí, aceites minerales y extractos vegetales) y la aplicación de películas de caolín actúan como barreras físicas y repelentes, pueden incrementar el control de *D. opuntiae* y al mismo tiempo mejorar la salud y producción de *Opuntia ficus-indica*, al mejorar la cobertura y eficacia general de los tratamientos, Mbo Nkoulou & Elhassouny (2025); Ramdani et al. (2025); Hernández-Pérez et al. (2019), llevaron a cabo un ensayo evaluativo en una parcela comercial de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) localizada en el paraje El Vigía, Tlalnepantla, Estado de Morelos, México, con el objetivo de identificar alternativas de control menos agresivas y más sustentables frente al uso indiscriminado de plaguicidas convencionales. En este estudio se probaron diversas dosis, mezclas y frecuencias de aplicación de un bioinsecticida (GreenSoap) compuesto por sales potásicas de ácidos grasos, tanto solo como en combinación con el insecticida Mark 1000® (Malathion 83.7%), mediante aplicaciones repetidas sobre plantas infestadas. Las aplicaciones sucesivas de las mezclas evaluadas fueron capaces de reducir de manera gradual las poblaciones de cochinilla silvestre en el campo, alcanzando una efectividad biológica de hasta 62% tras la tercera aplicación, y observándose cladodios con menor presencia de estados ninfales de la plaga. En Brasil, se obtuvieron porcentajes superiores al 80% con jabón en polvo, detergente neutro, aceite mineral y vegetal en concentraciones del 5% (Aguiar et al., 2019), así mismo se comprobó el uso y efecto de jabones biodegradables en polvo en concentra-

ciones que van del 0.5 a 3.0% contra ninfas y adultos de hembras de *D. opuntiae*, teniendo porcentajes de mortalidad hasta el 80% al causar obstrucción de los espiráculos y remoción de la capa de cera cuticular, dando como resultado una deshidratación severa que produce la muerte del insecto (García-Pascual et al., 2024). En México, se ha encontrado que el uso dirigido de jabones domésticos y detergentes biodegradables (2–8%) puede reducir significativamente la mortalidad de hembras adultas de *D. opuntiae*, lo que sugiere que estos productos accesibles y de bajo impacto ambiental pueden integrarse como parte de sistemas culturales de control cuando se emplean de forma dirigida (López-Rodríguez et al., 2021). La poda de partes infestadas, la eliminación de residuos, la aplicación de jabones biodegradables, silicio orgánico y aceites vegetales, son técnicas culturales que pueden controlar la presencia *D. opuntiae*, además se minimiza la dependencia de agroquímicos sintéticos, reduciendo el impacto negativo en el medio ambiente y la biodiversidad (Ramdani et al., 2022).

Bashyal et al. (2022) y Lamzira et al. (2025), señalan que las prácticas culturales y mecánicas (saneamiento, remoción de hospederos alternos, cultivos trampa, rotación y ajuste de densidades), junto con la diversificación del agroecosistema (intercalado y manejo de la arquitectura del cultivo), constituyen el eje inicial del Manejo Integrado de Plagas (MIP) al reducir la presión de plagas y favorecer el establecimiento de enemigos naturales. De forma complementaria, Zhou et al. (2024) destacan que estas prácticas optimizan tácticas adicionales (bioinsecticidas, extractos botánicos y agentes microbianos), reduciendo la dependencia de agroquímicos sintéticos. De acuerdo con su biología estacional, en campo está modulada principalmente por la temperatura y la disponibilidad de brotes tiernos de *O. ficus-indica*, lo que determina el número de generaciones anuales, la dinámica poblacional y

la severidad de las infestaciones, así como la eficacia de las tácticas de manejo; por ello, el clima debe integrarse en la planeación del manejo (El Aalaoui et al., 2020; Sabbahi y Hock, 2022; Schowalter, 2025). En sistemas de producción bajo invernadero, la edad y morfología del cladodio, influyen en la biomasa de cochinilla (menor en cladodios jóvenes, con contenido de ácido carmínico similar), lo que sugiere que la poda formativa y la renovación de cladodios pueden incorporarse como herramientas culturales para limitar la colonización de *D. opuntiae* (Arroyo-Figueroa et al., 2020). A escala de paisaje, la interacción entre temperatura y precipitación condiciona la expansión de la plaga y el desempeño de enemigos naturales en programas de control biológico, lo que exige ajustes regionales de las estrategias (Mendel et al., 2024).

## Desafíos por el uso de insecticidas químicos

La aplicación de insecticidas convencionales (malatión, Suprathion, Micuate, cipermetrina y permetrina) presenta un desafío, debido a los beneficios inmediatos que ofrecen en el control de plagas, contrastados con las consecuencias a largo plazo para el medio ambiente y la salud humana (Ramírez-Bustos et al., 2018). La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), indica que se carece de autorización oficial para el uso de estos productos altamente tóxicos e incluso están prohibidos a nivel internacional para emplearse en el nopal (Ramírez-Bustos et al., 2018). Hernández-Pérez et al. (2019), mencionaron sobre el uso indiscriminado de plaguicidas organoclorados y organofosforados utilizados para el control de *D. opuntiae*, el cual ha generado serias problemáticas, entre ellas la resistencia de la plaga,

fitotoxicidad en los cladodios, intoxicaciones en los aplicadores y consumidores, así como una alta residualidad en el nopal verdura destinado al consumo humano. García-Pascual et al. (2024), mencionaron que la combinación de productos químicos para combatir la grana cochinilla silvestre del nopal, puede ejercer un efecto negativo en las poblaciones de enemigos naturales de *D. opuntia*.

Quintero Lira et al. (2024) documentan que, en el cultivo de nopal en México, la problemática del uso de plaguicidas persiste desde finales de la década de 2000 y no se limita a la frecuencia de aplicación, sino que incluye el uso de ingredientes activos no autorizados y el bajo cumplimiento de las normas de Buen Uso y Manejo de Plaguicidas. Ante la escasez de productos registrados para *O. ficus-indica*, los productores recurren a organofosforados y otros plaguicidas altamente peligrosos, algunos restringidos o prohibidos, lo que incrementa el riesgo de residuos por encima de los límites máximos permisibles en cladodios para consumo humano. De igual forma, en el Estado de México, la falta de plaguicidas autorizados induce el uso de productos formulados para otros cultivos, en un contexto de vacíos regulatorios (ausencia de límites máximos de residuos específicos para nopal en Codex), lo que compromete la inocuidad (Reyes-Terrazas et al., 2023). Asimismo, la caracterización de sistemas productivos muestra que el manejo químico predomina frente a *D. opuntiae* en unidades con escaso acompañamiento técnico; en la Huasteca Tamaulipeca, la falta de asesoría y de monitoreo de organismos benéficos favorece esquemas de control basados en insecticidas de amplio espectro, reforzando la dependencia química (Zárate-Martínez et al., 2025).

Desde la salud humana, la exposición a organofosforados, carbamatos y piretroides se asocia con intoxicaciones agudas y efectos crónicos (neuroconductuales, endocrinos, inmunológicos), así como con mayor riesgo

de cáncer, enfermedades neurodegenerativas, metabólicas y respiratorias, incluso a exposiciones por debajo de límites ocupacionales tradicionales; el riesgo es mayor en poblaciones vulnerables y trabajadores agrícolas (Shekhar et al., 2024; De Barros Rodrigues et al., 2025).

En el plano ambiental, los plaguicidas reducen la abundancia y diversidad de organismos no objetivo (polinizadores, depredadores y fauna del suelo), alteran servicios ecosistémicos como el control biológico y la descomposición, y desestabilizan redes tróficas, lo que puede favorecer rebotes de plagas y mayor dependencia de insecticidas (Sánchez-Bayo, 2021; Beaumelle et al., 2023; Wan et al., 2025). En sistemas de nopal, estos impactos sugieren que el uso reiterado de insecticidas contra *D. opuntiae* puede debilitar enemigos naturales y reducir la resiliencia del agroecosistema, incrementando la vulnerabilidad ecológica.

## Oportunidades de investigación y desarrollo

Una alternativa a los agroquímicos industriales para el manejo de *D. opuntiae* en sistemas de cultivo de *O. ficus-indica* es la investigación y aplicación de hongos entomopatógenos, los cuales presentan especificidad hacia ciertos grupos de artrópodos y, por tanto, constituyen una opción más selectiva y con menor impacto sobre organismos no objetivo (Cisneros-Vázquez et al., 2023). En el contexto del nopal, una línea de investigación prioritaria es el desarrollo de sistemas de producción local de estos hongos mediante fermentación en estado sólido utilizando sustratos económicos y regionalmente disponibles, como arroz, frijol, lenteja, maíz palomero, mijo y salvado de trigo (Ángeles-Vega et al., 2025), así como residuos agro-

industriales como bagazo de caña, cascarilla de arroz y olote de maíz (Bautista et al., 2018).

Estos enfoques podrían facilitar la adopción de biocontroladores en comunidades productoras de nopal al reducir costos de producción y la dependencia de insumos externos (Cisneros-Vázquez et al., 2023). Asimismo, la suplementación de medios de cultivo con derivados del caparazón de camarón, como quitina y quitosano, ha mostrado potenciar el crecimiento, la esporulación y la actividad enzimática de *Beauveria bassiana*, lo que podría mejorar la capacidad del hongo para degradar la cubierta cerosa de *D. opuntiae*, una de las principales barreras para la eficacia del control biológico en esta plaga (Nurhangga et al., 2024). Un enfoque reciente de interés para el manejo de *D. opuntiae* es la capacidad de algunos hongos entomopatógenos para establecerse como endófitos en plantas, lo que podría conferir protección indirecta al hospedero y contribuir a reducir la colonización por insectos plaga, además de potenciales efectos en la promoción del crecimiento vegetal (Allegrucci et al., 2020). Explorar esta interacción endófito-nopal representa una oportunidad para desarrollar estrategias preventivas de manejo biológico en sistemas productivos de *Opuntia*. Finalmente, aunque el mecanismo general de infección de *B. bassiana* (Contacto y adhesión, germinación, penetración cuticular y colonización del hemocele) ha sido ampliamente descrito (Harith-Fadzilah et al., 2020; Moreno, 2021), una oportunidad de investigación específica para el sistema *D. opuntiae* consiste en evaluar cómo estos procesos se ven limitados por la cobertura cerosa de la cochinilla y cómo pueden optimizarse mediante formulaciones, coadyuvantes o combinaciones con enzimas hidrolíticas que incrementen la adhesión y penetración del hongo. La evidencia experimental disponible respalda la relevancia de los hongos entomopatógenos como agentes promisorios para el control de *D. opuntiae*.

Ramdani et al. (2022) evaluaron el efecto de diferentes cepas de hongos entomopatógenos sobre *D. opuntiae*. En hembras adultas se observó un oscurecimiento progresivo hacia un tono marrón y una marcada deshidratación, mientras que en ninfas muertas no se registraron cambios de color ni movimiento. Los bioensayos de laboratorio demostraron una alta mortalidad, destacando *B. bassiana* cepa HASS a una concentración de  $1 \times 10^8$  conidios/ml con un 100% de eficacia, seguida por *B. bassiana* cepa RFSL10, *Akanthomyces lecanii* RFSLV y *Cordyceps farinosa* SPSBI4 con valores cercanos al 98%. En el caso de las ninfas, se alcanzó el 100% de mortalidad con los aislamientos HASS y RFSL10 de *B. bassiana* en la misma concentración. En Brasil, se tiene evidencia de la eficacia de los aislados *Fusarium incarnatum-equiseti*, combinados con extractos de *Chenopodium ambrosioides* Linnaeus (L.) (Amaranthaceae) y *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) sobre la mortalidad *in vitro* de *D. opuntiae*, donde los aislados de cepas con el código Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (URM6779) + 5% de extracto acuoso de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) y URM6777 + 5% de extracto acuoso de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) causaron los mayores niveles de mortalidad (De Alencar Velez et al., 2019).

En ese sentido, la evaluación de la efectividad de *B. bassiana* permite tener una visión más amplia del manejo sostenible de esta plaga, vinculando los procesos biológicos de infección, los factores fisicoquímicos de las formulaciones y la importancia de los coadyuvantes en la eficacia del control biológico, además se demuestra que la eficacia de *B. bassiana* frente a *D. opuntiae* depende no solo de la virulencia del hongo, sino también del tipo de formulación biológica eficiente que puede requerir el equilibrio entre adherencia, viabilidad del agente biocontrolador y selectividad ecológica (Ramdani et al.,

2022). Asimismo, en condiciones de campo, la eficacia de *Beauveria bassiana* puede disminuir rápidamente debido a su baja tolerancia a estresores ambientales, particularmente la exposición a radiación UV, temperaturas elevadas y desecación, lo que reduce la persistencia y obliga a incrementar la frecuencia de aplicación. Por ello, el manejo en campo debe acompañarse de estrategias operativas y de formulación orientadas a conservar la viabilidad: aplicar en horarios de menor radiación (tarde/atardecer) y evitar períodos de alta insolación; emplear formulaciones y coadyuvantes que mejoren la adhesión y generen un microambiente protector (biopolímeros/encapsulación, aceites y otros protectores) para amortiguar la inactivación por estrés ambiental; y (reforzar el control de calidad del inóculo y el manejo logístico (almacenamiento y transporte) para mantener la viabilidad hasta su aplicación (Mascarin y Jaronski, 2016; Friuli et al., 2023; Mascarin et al., 2024).

En ese contexto, una vía prioritaria es la caracterización de la variabilidad genética y adaptación local de entomopatógenos para desarrollar bioinsumos regionales eficaces bajo condiciones semiáridas y de alta radiación. Se han identificado bacterias rizosféricas antagonistas asociadas a *O. ficus-indica* con mortalidades >80% en ninfas de *D. opuntiae* (Qessaoui, 2025) y nematodos entomopatógenos nativos formulables con bacterias simbióticas para generar bioinoculantes más robustos, lo que confirma su potencial como “bioinsecticidas vivos” integrables al MIP (El Ainous et al., 2025; Singh et al., 2022).

Otra oportunidad de investigación a destacar es la selección y mejoramiento de germoplasma de *Opuntia* resistente o tolerante a *D. opuntiae*, una de las tácticas más sostenibles documentadas en Marruecos, sin embargo, su adopción enfrenta retos logísticos (disponibilidad y distribución de material vegetativo, costos y tiempos de

reconversión) y socioproductivos (preferencias varietales, aceptación de mercado y riesgo percibido por productores) (Akroud et al., 2021). La resistencia del hospedero debe concebirse como un rasgo dinámico, sustentado en mecanismos morfológicos, bioquímicos y genéticos, y acompañado de monitoreo de adaptaciones evolutivas de la plaga y de eventuales pérdidas de efectividad de la resistencia, así como del resguardo de la biodiversidad funcional del agroecosistema, particularmente de enemigos naturales, polinizadores y microorganismos benéficos que sostienen el control biológico y la estabilidad del sistema (Schowalter, 2025; Enders y Begcy, 2021; Sadafale et al., 2025). La integración con herramientas biotecnológicas (identificación rápida de genotipos resistentes mediante marcadores de ADN y la siembra alternada de distintas variedades para reducir la presión de selección sobre la plaga) es clave para retrasar la adaptación evolutiva de las plagas y aumentar la durabilidad de los genotipos resistentes (Kumari et al., 2022), que pueden favorecer el establecimiento temprano de enemigos naturales (*Hyperaspis trifurcata*) y reducen la necesidad de aplicaciones químicas en fases iniciales de invasión (Berhe et al., 2022; Mendel et al., 2024).

## CONCLUSIONES

El manejo de *D. opuntiae* requiere enfoques integrales y adaptativos, ya que la aplicación aislada de un solo método de control resulta insuficiente para lograr una supresión sostenible de la plaga en sistemas productivos de *Opuntia ficus-indica*.

Los hongos entomopatógenos, particularmente *B. bassiana*, representan una herramienta relevante dentro del manejo biológico; sin embargo, su eficacia en campo depende de factores técnicos (formulación,

coadyuvantes, condiciones ambientales y momento de aplicación), por lo que su implementación debe concebirse como parte de un paquete tecnológico y no como una solución única.

De manera complementaria, las prácticas culturales y mecánicas, las alternativas de origen biológico (jabones y aceites biodegradables) y la conservación de enemigos naturales cumplen un papel estratégico en la reducción de la presión inicial de infestación y en la generación de condiciones favorables para el desempeño de los agentes de control biológico.

En este sentido, la revisión respalda que el manejo sostenible de la cochinilla del nopal debe estructurarse bajo un enfoque de Manejo Integrado de Plagas, donde la combinación racional de tácticas culturales, biológicas y de bajo impacto ambiental permita reducir la dependencia de insecticidas sintéticos, mejorar la estabilidad del sistema productivo y avanzar hacia esquemas de producción más sustentables.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abusharya, M. A., y Ashokri, H. A. (2025). *Opuntia* cochineal scale pest, *Dactylopius opuntiae*: Current situation, description, importance, and control methods in countries of the Mediterranean Basin and North Africa. *Acta Biology Forum*, 4(2), 15–18. <https://doi.org/10.51470/ABF.2025.4.2.15>
- Aguiar, S. C., Querino, L. A. L., Ferreira da Silva, P., y Antunes de Lima, V. L. (2019). Vulnerabilidade da palma forrageira e pecuária bovina no Estado da Paraíba frente ao ataque da cochonilha do carmim. *Revista de Geociências do Nordeste*, 5, 104–115. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2019v5n0ID17977>
- Akroud, H., Sbaghi, M., Bouharroud, R., Koussa, T., Boujghagh, M., y El Bouhssini, M. (2021). Antibiosis and antixenosis resistance to *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Moroccan cactus germplasm. *Phytoparasitica*, 49(4), 623–631. <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00897-w>
- Alhousa, W., Basheer, A. N., y El-Naser, Z. (2024). Study of the biology of the cochineal scale insect, *Dactylopius opuntiae*. *Arab Journal of Plant Protection*, 42(2), 143–148. <https://doi.org/10.22268/AJPP-001240>
- Allegrucci, N., Velazquez, M. S., Russo, M. L., Vianna, M. F., Abarca, C., y Scorsetti, A. C. (2020). Establishment of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as an endophyte in *Capsicum annuum* and its effects on the aphid pest *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Revista de Biología Tropical*, 68(4), 1141–1153. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.41218>
- Ángeles-Vega, L. S., Ramos-Jaimes, H. G., Espitia-López, J., Garza-López, P. M., y Angel-Cuapio, A. (2025). Fermentación sólida de *Metarhizium robertsii*: sustrato y condiciones de cultivo en la producción de conidios y la eficacia biológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(3), Artículo e3596. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i3.3596>
- Arroyo-Figueroa, G., Medina-Saavedra, T., Pérez-Sánchez, R. E., y Ortiz-Rodríguez, R. (2020). Morfología y edad del cladodio de *Opuntia ficus-indica* sobre la producción de *Dactylopius coccus* Costa y contenido de ácido carmínico. *Nova Scientia*, 12(25), Artículo 00019. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2519>
- Asaad, F., Chikh-Khamis, Z., y Bufaur, M. (2025). Laboratory study of some biological parameters and life table of *Opuntia* cochineal scale insect, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) in Syria. *Arab Journal of Plant Protection*, 43(1), 1–9. <https://doi.org/10.22268/AJPP-001287>
- Bashyal, S., Poudel, D., y Gautam, B. (2022). A review on cultural practice as an effective pest management approach under integrated pest management. *Tropical Agroecosystems*, 3(1), 34–40. <http://doi.org/10.26480/taec.01.2022.34.40>
- Bautista, E. J., Mesa, L., y Gómez Alvarez, M. I. (2018). Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 585–604. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.15>

- Beaumelle, L., Tison, L., Eisenhauer, N., Hines, J., Malladi, S., Pelosi, C., Thouvenot, L., y Phillips, H. R. P. (2023). Pesticide effects on soil fauna communities — A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 60(7), 1239–1253. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14437>
- Berhe, Y. K., Portillo, L., y Viguera-Guzmán, A. L. (2022). Resistance of *Opuntia ficus-indica* cv. ‘Rojo Pelón’ to *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) under greenhouse condition. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 24, 290–306. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.509>
- Callejas-Chavero, A., Martínez-Hernández, D. G., Vargas-Mendoza, C. F., y Flores-Martínez, A. (2023). Herbivoría en *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae): ¿Los parasitoides proporcionan una defensa indirecta o una ventaja directa? *Plants*, 12(1), Artículo 47. <https://doi.org/10.3390/plants12010047>
- Cisneros-Vázquez, L. A., Penilla-Navarro, R. P., Rodríguez, A. D., Ordóñez-González, J. G., Valdez-Delgado, K. M., Danis-Lozano, R., y Vázquez-Martínez, G. (2023). Entomopathogenic fungi for the control of larvae and adults of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) vector of dengue, chikungunya and Zika viruses in Mexico. *Salud Pública de México*, 65, 144–150. <https://doi.org/10.21149/13931>
- De Alencar Velez, B. A., Diniz, A. G., Barbosa, L. F. S., Da Silva Santos, A. C., Da Costa, A. F., y Tiago, P. V. (2019). Potential of *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex isolates with *Chenopodium ambrosioides* and *Enterolobium contortisiliquum* extracts to control *Dactylopius opuntiae*. *International Journal of Tropical Insect Science*, 39(2), 131–138. <https://doi.org/10.1007/s42690-019-00014-9>
- De Barros Rodrigues, M., Mello da Silva, C. A., Chong-Silva, D. C., y Chong-Neto, H. J. (2025). Pesticides and human health. *Jornal de Pediatria*, 101(Suppl 1), S70–S76. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2024.11.008>
- El Aalaoui, M., Anwar, A., Ilahi, H., y El Mokh, S. (2025b). Factors affecting the control of *Dactylopius*, an invasive pest of cactus crop: Artificial intelligence-based meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*, 4, Artículo 1664240. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1664240>
- El Aalaoui, M., Bouharroud, R., Sbaghi, M., El Bouhssini, M., y Hilali, L. (2020). Seasonal biology of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) on *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae) under field and semi-field conditions. *Ponte*, 76(1), 259–271. <https://doi.org/10.21506/j.ponte.2020.1.17>
- El Aalaoui, M., Rammali, S., Kamal, F. Z., Ciobica, A., Albert, C., Burlui, V., Novac, B., Bencharki, B., y Sbaghi, M. (2025a). Control de campo integrado de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) en *Opuntia* spp. utilizando métodos biorracionales. *Frontiers in Microbiology*, 16, Artículo 1714087. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1714087>
- El Aalaoui, M., y Sbaghi, M. (2022). Temperature dependence for survival, development, and reproduction of the cactus cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell). *Insects*, 13(5), Artículo 426. <https://doi.org/10.3390/insects13050426>

- El Ainous, A., El Aissami, A., Bouchtaoui, E. M., Krif, G., Iraqi, D., Azim, K., Obaid Alfalahi, A., Dababat, A. A., y Mokrini, F. (2025). Aprovechamiento de nematodos entomopatógenos nativos para el control sostenible de plagas en agroecosistemas del norte de África. *CABI Reviews*. <https://doi.org/10.1079/cabireviews.2025.0035>
- El Finti, A., El Boullani, R., Zahidi, A., y El Mousadik, A. (2022). Management of the prickly pear mealy bug, *Dactylopius opuntiae* using bio-insecticide in Morocco. *Advances in Entomology*, 10(4), 267–274. <https://doi.org/10.4236/ae.2022.104019>
- Enders, L., y Begcy, K. (2021). Unconventional routes to developing insect-resistant crops. *Molecular Plant*, 14(9), 1439–1453. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.06.029>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Status of cochineal and Opuntia spp. production in the Near East and North Africa region 2022: A perspective from Jordan, Lebanon, Morocco, the Syrian Arab Republic and Tunisia*. FAO. <https://www.fao.org/3/cc3256en/cc3256en.pdf>
- Franco, J. C., Cocco, A., Lucchi, A., Mendel, Z., Suma, P., Vacas, S., Mansour, R., y Navarro-Llopis, V. (2022). Scientific and technological developments in mating disruption of scale insects. *Entomologia Generalis*, 42(2), 251–273. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2021/1220>
- Friuli, M., Pellegrino, R., Lamanna, L., Nitti, P., Madaghiele, M., y Demitri, C. (2023). Materials Engineering to Help Pest Control: A Narrative Overview of Biopolymer-Based Entomopathogenic Fungi Formulations. *Journal of Fungi*, 9(9), Artículo 918. <https://doi.org/10.3390/jof9090918>
- García Pascual, E., González Chávez, M. M., Franco Vega, A., Rodríguez Leyva, E., Méndez Gallegos, S. de J., Morales Rueda, J. A., y Bravo Vinaja, A. (2024). Tácticas de control de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae): un análisis bibliométrico. *Investigación Bibliotecológica*, 38(98), 13–29. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2024.98.58813>
- GMR Canarias. (2020, 6 de octubre). *GMR Canarias*. <https://gmrcanarias.com>
- González-Román, P., Hernández-Oaxaca, D., Bustamante-Brito, R., Rogel, M. A., y Martínez-Romero, E. (2024). On the origins of symbiotic fungi in carmine cochineals and their function in the digestion of plant polysaccharides. *Insects*, 15(10), Artículo 783. <https://doi.org/10.3390/insects15100783>
- Harith-Fadzilah, N., Ghani, I. A., y Hassan, M. (2020). Omics-based approach in characterising mechanisms of entomopathogenic fungi pathogenicity: A case example of *Beauveria bassiana*. *Journal of King Saud University - Science*, 33(2), Artículo 101332. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101332>
- Hernández Espínola, E. E. (2021). *Toxicidad de cuatro insecticidas sobre Dactylopius opuntiae (Hemiptera: Dactylopiidae)* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. Repositorio Institucional Colpos. [http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4643/Hernandez\\_Espindola\\_E\\_MC\\_Entomología\\_Acarología\\_2021.pdf](http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4643/Hernandez_Espindola_E_MC_Entomología_Acarología_2021.pdf)
- Hernández-Pérez, R., Bravo-Silva, G., Martínez-Martínez, J., Hernández, Á. G., y De Jesús Ramírez Pedraza, T. (2019). Evaluación de la efectividad biológica de bioinsecticida para el control de cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), en Totolapan,

- Morelos, México. *Revista Chilena de Entomología*, 45(4), 515–523. <https://doaj.org/article/406962cc5d5d4626b1e1c68be31fc68f>
- Just, M. G., Dale, A. G., y Frank, S. D. (2020). Gloomy scale (Hemiptera: Diaspididae) ecology and management on landscape trees. *Journal of Integrated Pest Management*, 11(1), Artículo 24. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa028>
- Kakoti, B., Deka, B., Roy, S., y Babu, A. (2023). The scale insects: Its status, biology, ecology and management in tea plantations. *Frontiers in Insect Science*, 2, Artículo 1048299. <https://doi.org/10.3389/finsc.2022.1048299>
- Kumar, J., y Paul, B. (2025). Role of herbivore-induced plant volatiles in foraging strategy of *Coccinella septempunctata*. *Annual Research & Review in Biology*, 40(7), 95–100. <https://doi.org/10.9734/arrb/2025/v40i72274>
- Kumari, P., Jasrotia, P., Kumar, D., Kashyap, P. L., Kumar, S., Mishra, C. N., Kumar, S., y Singh, G. P. (2022). Biotechnological approaches for host plant resistance to insect pests. *Frontiers in Genetics*, 13, Artículo 914029. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.914029>
- Lamzira, R., El Fakhouri, K., Boulamtat, R., Kemal, S. A., Oubayoucef, A., Ramdani, C., Meftah Kadmiri, I., y El Bouhssini, M. (2025). Multifunctional roles of intercropping in the management of insect pests affecting pulse crops: A comprehensive bibliometric analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, Artículo 1599254. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1599254>
- López-Rodríguez, P. E., Aquino-Pérez, G., Morales-Flores, F. J., Mena-Covarrubias, J., Rodríguez-Leyva, E., y De Jesús Méndez-Gallegos, S. (2021). Productos no convencionales como alternativa de control de *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 44(3), 417–424. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.417>
- Mascarin, G. M., Golo, P. S., de Souza Ribeiro-Silva, C., Jackson, M. A., y Delalibera Júnior, Í. (2024). Advances in submerged liquid fermentation and formulation of entomopathogenic fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108, Artículo 451. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13287-z>
- Mascarin, G. M., y Jaronski, S. T. (2016). Production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, Artículo 177. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>
- Mazzeo, G., Nucifora, S., Russo, A., y Suma, P. (2019). *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: An overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(1), 59–72. <https://doi.org/10.1111/eea.12756>
- Mbo Nkoulou, L. F., y Elhassouny, A. (2025). Artificial intelligence-based meta-analysis for control of *Dactylopius*. *Frontiers in Agronomy*, 5, Artículo 1664240. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1664240>

- Mendel, Z., Protasov, A., Golan, O., Bensimon, D., Kolodny, O., y Suma, P. (2024). Navigating challenges in the management of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): Transitioning from ‘introduction biological control’ to a preemptive strategy of artificial seeding of a natural enemy. *Biological Control*, 196, Artículo 105582. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105582>
- Mendel, Z., Protasov, A., Vanegas-Rico, J. M., Lomeli-Flores, J. R., Suma, P., y Rodríguez-Leyva, E. (2020). Classical and fortuitous biological control of the prickly pear cochineal, *Dactylopius opuntiae*, in Israel. *Biological Control*, 142, Artículo 104157. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104157>
- Montejano-Ramírez, V., Ávila-Oviedo, J. L., Campos-Mendoza, F. J., y Valencia-Cantero, E. (2024). Microbial volatile organic compounds: Insights into plant defense. *Plants*, 13(15), Artículo 2013. <https://doi.org/10.3390/plants13152013>
- Moreno C., D. H. (2021). *Comparación de dos métodos de producción de Beauveria bassiana y su uso en campo como insecticida microbiano: Revisión de literatura* [Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio Digital Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/items/30233ee3-f5b7-40f7-af8b-53e8f9d7096b>
- Moussa, Z., Yammouni, D., y Azar, D. (2017). *Dactylopius opuntiae* (Cockerell, 1896), a new invasive pest of the cactus plants *Opuntia ficus-indica* in the South of Lebanon (Hemiptera, Coccoidea, Dactylopiidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 122(2), 173–178. <https://doi.org/10.3406/bsef.2017.3194>
- Nurhanga, E., Nawfetrias, W., Djamass, N., y Jufri, A. (2024). The effect of chitin on the effectiveness of *Beauveria bassiana* formulation product to control cocoa pod borer in vitro. *Menara Perkebunan*, 92(1), 9–20. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v92i1.550>
- Ochoa Manzo, G. M., Martínez-Flores, H. E., Rodiles López, J. O., y Portillo, L. (2025). Carmine red from cochineal (*Dactylopius coccus*), a natural dye: A review. *Ciencia Nicolaita*, 93, 26–34. <https://doi.org/10.35830/cn.vi93.827>
- Palafox-Luna, J. A., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Vigueras-Guzmán, A. L., y Vanegas-Rico, J. M. (2018). Ciclo de vida y fecundidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae). *Agrociencia*, 52(1), 103–114. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952018000100103](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000100103)
- Perales-Segovia, C., Gaona, E. G., Peñuelas-Rubio, O., Covarrubias, J. M., Aguilar, L. P., y Argente-Martínez, L. (2024). *El Nopal: Principales plagas y enfermedades del nopal en México*. Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756204>
- Puspitasari, M., Susilawati, S., Hapsari, A. D., y Harni, R. (2023). Mealybug (*Planococcus* spp., Hemiptera: Pseudococcidae) as a pest on plantation crops and its control techniques: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1133, Artículo 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1133/1/012032>

- Qessaoui, R. (2025). Antagonistic rhizospheric bacteria against *D. opuntiae*. *Ciencia Nicolaita*, 93, 1–15. <https://doi.org/10.35830/cn.vi93.831>
- Quintero Lira, A., Bravo Islas, M., Piloni Martini, J., y López Palestina, C. U. (2024). Problemática del uso de plaguicidas en el cultivo de nopal, *Opuntia ficus-indica*. Revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 801–811. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.12321](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12321)
- Ramdani, C., El Fakhour, K., Boulamtat, R., Bouharroud, R., Mesfioui, A., Al-Jaboobi, M., y El Bouhssini, M. (2022). Entomopathogenic fungi as biological control agents of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) under laboratory and greenhouse conditions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Artículo 997254. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.997254>
- Ramdani, C., El Fakhour, K., Tika, A., Sadeq, M. A., Moustaid, O., Taarji, N., y El Bouhssini, M. (2025). Kaolin particle film repellent effect against the wild cochineal *Dactylopius opuntiae* and its impact on cactus pear health. *Scientific Reports*, 15, Artículo 4321. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33560-z>
- Ramírez-Bustos, I. I., López-Martínez, V., Juárez-López, P., Guillén-Sánchez, D., Alia-Tejacal, I., Rivera-León, I., Saldarriaga-Noreña, H. A., y Jiménez-García, D. (2018). Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(1), 18–25. <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.1/3>
- Remmal, I., El Yamlaoui, Y., Bel Mokhtar, N., Galiatsatos, I., Loukovitis, D., Dionysopoulou, E., Britel, M. R., Stathopoulou, P., Maurady, A., y Tsiamis, G. (2025). Analysis of the bacterial microbiota in wild populations of prickly pear cochineal, *Dactylopius opuntiae* in Morocco. *Insects*, 16(12), Artículo 1184. <https://doi.org/10.3390/insects16121184>
- Reyes-Terrazas, A. S., Flores-Sánchez, D., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, M. A., y Almaguer-Vargas, G. (2023). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlancingo, Otumba. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 211–222. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>
- Rodríguez-Leyva, E., García-Pascual, E., González-Chávez, M. M., De J. Méndez-Gallegos, S., Morales-Rueda, J. A., Posadas-Hurtado, J. C., Bravo-Vinaja, Á., y Franco-Vega, A. (2024). Interactions of *Opuntia ficus-indica* with *Dactylopius coccus* and *D. opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) through the study of their volatile compounds. *Plants*, 13(7), Artículo 963. <https://doi.org/10.3390/plants13070963>
- Sabbahi, R., y Hock, V. (2022). Control of the prickly pear cochineal, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), in Morocco: An overview. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 129(6), 1323–1330. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00655-y>
- Sadafale, G. V. R., Shashikala, B., Kondaguri, S. R., y Divya, D. M. (2025). Host plant resistance and insect-plant interactions: Nature's silent battle. *Indian Farmer*, 12(9), 522–528.
- Sánchez-Bayo, F. (2021). Indirect effect of pesticides on insects and other arthropods. *Toxics*, 9(8), Artículo 177. <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>
- Schowalter, T. D. (2025). Ecología, uso y manejo de la cochinilla (Hemiptera: Dactylopiidae). *Journal of Integrated Pest Management*, 16(1), Artículo pmaf033. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaf033>

- Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., y Sharma, A. K. (2024). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, 13, Artículo 101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>
- Singh, K., Kumar, M., Ahuja, A., Vinay, B. K., Kommu, K. K., Thakur, S., Paschapur, A. U., Jeevan, B., Mishra, K. K., Meena, R. P., y Parihar, M. (2022). Entomopathogenic nematodes: A sustainable option for insect pest management. En A. Rakshit, V. S. Meena, P. C. Abhilash, B. K. Sarma, H. B. Singh, L. Fraceto, M. Parihar y A. K. Singh (Eds.), *Biopesticides: Vol. 2: Advances in Bio-Inoculants* (pp. 73–92). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823355-9.00007-9>
- van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., y Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl*, 63(1), 39–59. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>
- Wan, N.-F., Fu, L., Dainese, M., Kiær, L. P., Hu, Y.-Q., Xin, F., Goulson, D., Woodcock, B. A., Vanbergen, A. J., Spurgeon, D. J., Shen, S., y Scherber, C. (2025). Pesticides have negative effects on non-target organisms. *Nature Communications*, 16factory, Artículo 1360. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56732-x>
- Zárate-Martínez, W., Felipe-Victoriano, M., Alcalá-Rico, J. S. G. J., Hernández-Hernández, A., Méndez-Argüello, B., y Arispe-Vázquez, J. L. (2025). Characterization of the nopal (*Opuntia* spp.) production system in the Huasteca region of Tamaulipas, Mexico. *Agronomía Mesoamericana*, 36(1), Artículo 60442. <https://doi.org/10.15517/am.2025.60442>
- Zhao, Q., Li, H., Chen, C., Fan, S., Wei, J., Cai, B., y Zhang, H. (2024). Potential global distribution of *Paracoccus marginatus*, under climate change conditions, using MaxEnt. *Insects*, 15(2), Artículo 98. <https://doi.org/10.3390/insects15020098>
- Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., y Akbulut, M. E. S. (2024). Integrated pest management: An update on the sustainability approach to crop protection. *ACS Omega*, 9(40), 41130–41147. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>

# Fronteras disciplinarias y brechas explicativas en la investigación sobre el cambio de uso del suelo: una síntesis conceptual comparativa

Claudia Coral<sup>1\*</sup>, Robert Carcamo Mallen<sup>1,2</sup>, Valerie Graw<sup>3</sup>

**Resumen.** La investigación sobre el cambio de uso del suelo articula múltiples disciplinas y marcos epistemológicos, lo que enriquece la comprensión del fenómeno y, a la vez, plantea el desafío de integrar explicaciones provenientes de tradiciones teóricas heterogéneas. Asimismo, persisten desafíos metodológicos para representar las interacciones entre los actores y sus contextos a lo largo de escalas temporales amplias. En este artículo realizamos un análisis conceptual comparativo cualitativo de las principales tradiciones teóricas que han configurado este campo entre 1980 y 2022, para identificar desafíos explicativos comunes. Sintetizamos tres brechas clave: (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro–macro y (iii) el potencial predictivo. Concluimos que abordar estas brechas requiere una integración teórica más sólida entre perspectivas disciplinarias complementarias, e identificamos enfoques integradores y participativos con potencial para fortalecer la investigación y la modelización futuras del uso del suelo.

**Palabras clave:** Cambio de uso del suelo; Explicaciones científicas; Contexto; Desafío micro–macro; Predicción.

**Abstract.** Research on land-use change brings together multiple disciplines and epistemological frameworks, enriching the understanding of the phenomenon while also posing the challenge of integrating explanations drawn from heterogeneous theoretical traditions. Methodological challenges also persist in representing interactions between actors and their contexts across broad temporal scales. In this article, we conduct a comparative conceptual qualitative analysis of the main theoretical traditions that have shaped this field between 1980 and 2022, in order to identify common explanatory challenges. We synthesize three key gaps: (i) the context of land-use change, (ii) the micro–macro challenge, and (iii) predictive potential. We conclude that addressing these gaps requires stronger theoretical integration across complementary disciplinary perspectives, and we identify integrative and participatory approaches with the potential to strengthen future land-use research and modelling.

<sup>1</sup> Departamento de Economía Agrícola y Gestión de la Cadena Agroalimentaria, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlín, Alemania.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Geomática, Instituto de Geografía, Facultad de Geociencias, Ruhr-Universität Bochum (RUB), Bochum, Alemania.

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico del Valle de Etla, Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, 68230, Oaxaca, México.

\* Autor de contacto. Correo electrónico: claudia.coral@hu-berlin.de

**Keywords:** *Land change science; Land system science; Land-use change; Scientific explanations; Context; Micro-macro challenge; Prediction.*

## INTRODUCCIÓN

Explicar cómo las personas usan el suelo y transforman su cobertura, impulsando el cambio ambiental y siendo, a la vez, afectadas por éste, constituye una cuestión central en campos como la ecología, las ciencias ambientales, la economía y la sociología (Müller, 2016; Walters, 2022). El uso del suelo<sup>4</sup> ha sido descrito como la manera en que los seres humanos utilizan el suelo y se vincula con las actividades que tienen lugar en un sitio determinado, mientras que la cobertura del suelo describe las características físicas de la superficie, por ejemplo, la cobertura de cultivos o la cobertura forestal, en ese mismo sitio; sin embargo, estos conceptos conceptualmente distintos están estrechamente vinculados (Robinson et al., 2018).

Comprender los procesos de cambio del uso y la cobertura del suelo resulta hoy especialmente relevante, dado que varias de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible dependen, directa o indirectamente, de las instituciones y mecanismos de gobernanza que regulan el uso de la tierra (Foley et al., 2005; Heck et al.,

2018; Munroe y Müller, 2020; OECD, 2020). Pese a décadas de investigación, desarrollar un marco teórico general que oriente la comprensión del cambio de uso del suelo sigue siendo un desafío abierto (Turner et al., 2021). Una razón de fondo es que los sistemas de uso del suelo son examinados por múltiples disciplinas cuyos enfoques a menudo reflejan diferentes tradiciones epistemológicas y marcos analíticos, lo que crea fronteras intelectuales entre campos que pueden obstaculizar la integración. Dado que los supuestos disciplinarios moldean la forma en que se explica el cambio de uso del suelo, perspectivas disciplinarias complementarias pueden conducir a diferentes interpretaciones del comportamiento humano y, en consecuencia, a implicaciones divergentes para la toma de decisiones y la política pública (Malek et al., 2019; Schill et al., 2019). Como señalaron Guterbock et al. (1980), los miembros de una disciplina tienden a centrar su atención en los vínculos causales propios de su campo, mientras que aquellos estudiados por otras disciplinas pueden recibir menor consideración o quedar fuera de sus marcos explicativos. Esta fragmentación tiene consecuencias explicativas concretas. Una revisión sistemática de la literatura publicada entre 1950 y 2018 muestra que la teoría económica basada en la maximización de la utilidad y el interés propio sigue siendo el marco explicativo dominante en muchos estudios de caso, lo que puede sobredimensionar el papel de las motivaciones económicas en la toma de decisiones subyacente al cambio de uso del suelo (Malek et al., 2019). Aunque cada perspectiva contribuye a una mejor comprensión de un aspecto particular del comportamiento humano, siguen siendo limitados los enfoques capaces de representar simultáneamente la interacción entre diversos actores y los contextos más amplios que estos generan a lo largo de horizontes temporales más extensos (Schill et al., 2019).

<sup>4</sup> En este artículo utilizamos 'cambios de uso y cobertura del suelo' para referirnos a land-use and land-cover change (LULCC), siguiendo la terminología empleada en la literatura científica en español. En cambio, mantenemos las denominaciones originales Land Change Science (LCS) y Land System Science (LSS) en inglés, ya que corresponden a nombres propios de campos de investigación interdisciplinarios consolidados institucionalmente (véase Antecedentes), cuya traducción no está estandarizada en la literatura en español.

Sostenemos que los avances en la disponibilidad de datos y en las técnicas de modelización, aunque sustanciales, no bastan por sí solos para resolver estos desafíos explicativos. Fortalecer las explicaciones del cambio de uso del suelo requiere clarificar e integrar los supuestos teóricos que atraviesan las distintas tradiciones disciplinarias, tanto como acumular más datos o refinar los modelos. Antes que atribuir estos desafíos a disciplinas particulares, los entendemos como transversales a la literatura, en la medida en que reaparecen, aunque con distintos lenguajes, en diversas tradiciones teóricas.

Con este fin, realizamos un análisis conceptual comparativo cualitativo de las principales tradiciones teóricas que han configurado la investigación sobre el cambio de uso del suelo entre 1980 y 2022, orientado por la trayectoria histórica y los avances metodológicos y conceptuales del campo (Figura 1), más que por una cartografía exhaustiva de cada disciplina. La sección de antecedentes sintetiza esa trayectoria; sobre esa base, identificamos y analizamos tres brechas explicativas recurrentes: (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro–macro y (iii) el potencial de predicción. Al interconectar supuestos desarrollados en la psicología, las ciencias sociales y la ciencia geoespacial, el artículo aclara problemas explicativos transversales, más que evaluar modelos específicos, y concluye con una discusión sobre enfoques de investigación con potencial para abordar estas brechas explicativas y fortalecer la investigación futura sobre el cambio de uso del suelo.

## METODOLOGÍA

### Diseño de la investigación

Este estudio adopta un análisis conceptual comparativo cualitativo para examinar cómo distintas tradiciones disciplinarias explican el cambio de uso del suelo. La uni-

dad de análisis son los documentos científicos, artículos, capítulos de libro y libros, que abordan el cambio de uso del suelo desde distintas disciplinas. Los marcos teóricos, los supuestos explicativos y los conceptos empleados en dichos documentos constituyen la dimensión comparativa del análisis. En lugar de evaluar la capacidad de predicción de modelos específicos o realizar una revisión sistemática de la literatura, el objetivo es contrastar estos supuestos y marcos conceptuales para identificar cómo han configurado la investigación sobre el uso del suelo en distintas disciplinas y qué desafíos explicativos recurrentes surgen al integrar estas perspectivas complementarias.

Este enfoque metodológico fue seleccionado porque permite examinar y contrastar supuestos explicativos entre disciplinas que operan a diferentes niveles de análisis y con tradiciones epistemológicas distintas, lo que favorece la identificación de limitaciones compartidas y de oportunidades de integración teórica. En este sentido, el diseño responde a una lógica interpretativa orientada a comprender cómo distintas disciplinas construyen explicaciones del cambio de uso del suelo, más que a evaluar empíricamente relaciones causales o medir la capacidad predictiva de modelos particulares.

## Selección de la literatura

El análisis se basa en 71 documentos, artículos científicos, capítulos de libros y libros, publicados entre 1980 y 2022<sup>5</sup>, provenientes de disciplinas que han influido

<sup>5</sup> La revisión documental se inició a principios de 2024 y culminó en 2025; por ello, no se incorporaron publicaciones posteriores a 2025. Esta delimitación permitió trabajar con un corpus consolidado y analizar la evolución histórica de los enfoques teóricos, sus fundamentos y transformaciones conceptuales dentro del campo de estudio.

sustancialmente en la investigación sobre el uso del suelo, como la ciencia del cambio del suelo (Land Change Science, LCS), la ciencia de los sistemas de uso del suelo (Land System Science, LSS), la geografía, la ecología, la economía, la sociología, la psicología, la teoría institucional, los estudios indígenas y la filosofía de la ciencia. El periodo de 1980 a 2022 corresponde al tiempo en el que se consolidó institucional y conceptualmente el campo de estudio del cambio de uso y la cobertura del suelo, tal como se sintetiza en la Figura 1; los documentos incluidos fueron seleccionados, en parte, por representar hitos y avances metodológicos-conceptuales de esa trayectoria histórica.

La literatura fue seleccionada en función de su relevancia para explicar el cambio de uso del suelo, su influencia en el campo y su contribución a los debates sobre el comportamiento humano, el contexto, la escala, la modelización y la predicción. Los criterios de inclusión consideraron: (a) relevancia conceptual directa para explicar el cambio de uso del suelo; (b) reconocimiento académico o influencia documentada en el campo; (c) representatividad disciplinaria, priorizando la amplitud de tradiciones teóricas por sobre la exhaustividad dentro de cada una; y (d) pertinencia para al menos una de las tres brechas explicativas identificadas (contexto, desafío micro-macro, potencial de predicción).

La identificación de fuentes se realizó mediante una estrategia de búsqueda dirigida y una selección intencional, fundamentada en la experticia disciplinaria complementaria de los autores. Esta estrategia combinó búsquedas exploratorias en bases de datos académicas relevantes como *Web of Science*, *Scopus* y *ScienceDirect*, complementadas con la revisión de referencias cruzadas y la selección intencional de literatura considerada fundacional o relevante en cada tradición disciplinaria. Las búsquedas combinaron términos relacionados con cam-

bio de uso del suelo, cambio en la cobertura del suelo, toma de decisiones, modelización, sistemas socioecológicos, contexto, escala, predicción, conocimiento indígena y modelización participativa en el contexto de uso del suelo. Aunque el propósito del estudio no fue alcanzar la exhaustividad bibliográfica, se buscó asegurar la amplitud disciplinaria y la diversidad de enfoques teóricos. Por ello, la selección combinó literatura ampliamente citada en el campo con contribuciones conceptualmente relevantes a las tres brechas explicativas identificadas. Reconocemos que esta estrategia, al no seguir un protocolo de búsqueda sistemática con cadenas booleanas fijas ni criterios de cribado totalmente reproducibles (p. ej., PRISMA), presenta una menor replicabilidad estricta; no obstante, la trazabilidad del corpus analizado se garantiza mediante la lista completa de referencias y su clasificación por tradición disciplinaria y contribución principal (Anexo 1), lo que permite a otros investigadores examinar y contrastar la base documental del análisis. Esta decisión responde al objetivo del estudio, sintetizar desafíos explicativos transversales entre disciplinas complementarias, y no mapear exhaustivamente cada tradición disciplinaria. Esta limitación se retoma en la sección de discusión.

## Enfoque analítico

La síntesis conceptual comparativa se sustentó en el conocimiento de los autores sobre el estado del arte de las disciplinas revisadas, aplicado a la etapa de contraste entre las distintas tradiciones teóricas. El análisis se desarrolló mediante la lectura comparativa de la literatura seleccionada, a partir de la cual se identificaron de manera conjunta y holística, las principales contribuciones de cada tradición disciplinaria, así como los supuestos

explicativos recurrentes y los desafíos conceptuales que emergen de su contraste. Para reducir el riesgo de sesgos interpretativos, el proceso incluyó discusión iterativa entre autores, contraste cruzado de interpretaciones y revisión crítica de las categorías emergentes.

Más que elaborar un inventario exhaustivo de publicaciones, el análisis se orientó a una lectura comparativa de la literatura y a la construcción progresiva de categorías analíticas mediante la deliberación entre los autores, sin aplicar un procedimiento formal de codificación cualitativa.

Las tres brechas explicativas presentadas en este artículo son (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro-macro y (iii) el potencial de predicción. Estas emergieron mediante un proceso iterativo de reflexión crítica, comparación entre perspectivas teóricas y deliberación entre autores, hasta alcanzar consistencia interpretativa respecto de los patrones explicativos identificados entre disciplinas. Estas brechas fueron seleccionadas porque aparecieron de manera recurrente en tradiciones disciplinarias distintas y porque articulan tres problemas transversales para explicar el cambio de uso del suelo: la delimitación del contexto, la relación entre decisiones individuales y patrones agregados, y la conexión entre explicación y predicción. La síntesis resultante no busca evaluar disciplinas individuales ni enfoques específicos de modelización. En cambio, identifica desafíos explicativos persistentes a pesar de los avances sustanciales en la investigación sobre el uso del suelo y analiza oportunidades para fortalecer la investigación interdisciplinaria futura y la modelización del uso del suelo.

Finalmente, cabe aclarar que este análisis no pretende generar inferencias causales ni validar empíricamente hipótesis específicas. Sus resultados dependen de la selección e interpretación de la literatura representativa y deben entenderse como una propuesta analítica orien-

tada a fortalecer futuras agendas de investigación interdisciplinaria y el desarrollo de marcos explicativos más integradores. Asimismo, el análisis presenta la limitación de considerar únicamente la literatura publicada en inglés, lo que ofrece principalmente una perspectiva del Norte Global sobre estas temáticas. En consecuencia, futuras investigaciones podrían ampliar este enfoque mediante la incorporación de literatura en español, a fin de integrar perspectivas provenientes de otros contextos geográficos y enriquecer la comprensión del fenómeno.

## Antecedentes: la evolución de la investigación sobre el cambio de uso del suelo

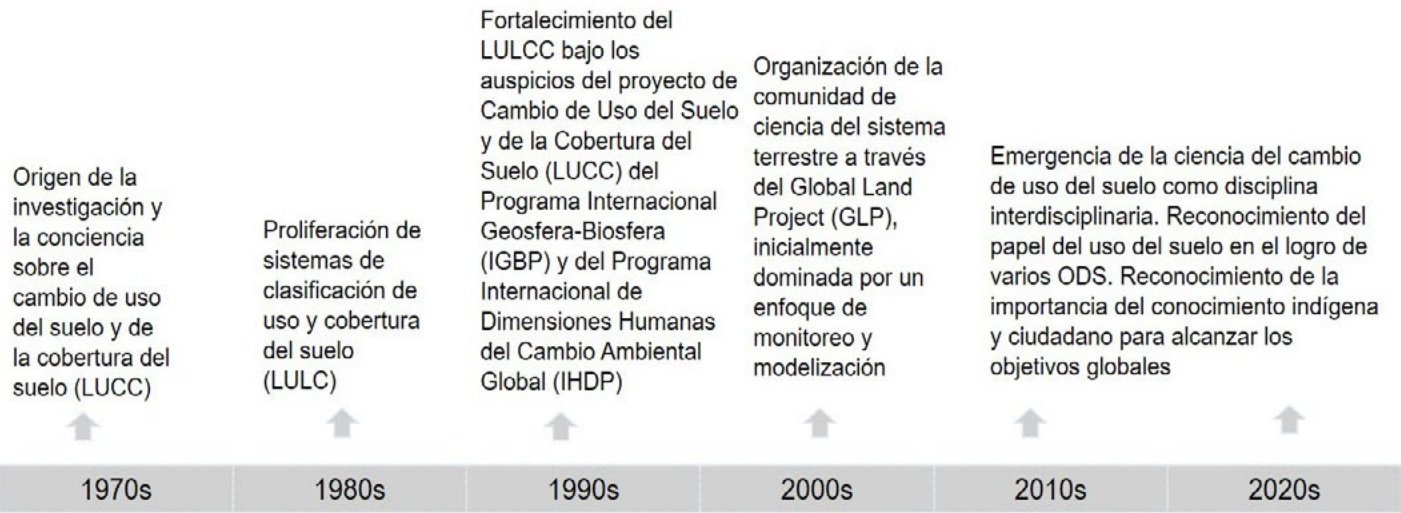
### Orígenes y consolidación institucional del campo

La investigación sobre el cambio de uso y la cobertura del suelo (*Land-Use and Land-Cover Change*, LULCC) tuvo sus orígenes en la década de 1970, cuando comenzaron a reconocerse las transformaciones del uso del suelo y sus impactos a escalas local y global (Turner, 1997; Lambin et al., 2006). Los sistemas globales de clasificación del uso y la cobertura del suelo se han desarrollado desde la década de 1980 (Nedd et al., 2021). Por su parte, la investigación sobre el cambio de uso y la cobertura del suelo se consolidó institucionalmente mediante proyectos internacionales como el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (*International Geosphere-Biosphere Programme*, IGBP) y el Programa Internacional sobre las Dimensiones Humanas del Cambio Ambiental Global (*International Human Dimensions Programme on*

*Global Environmental Change*, IHDP) (Lambin y Geist, 2006). Posteriormente, la comunidad de la ciencia de los sistemas de uso del suelo se organizó en torno al Proyecto Global del Suelo (*Global Land Project*, GLP), iniciado en 2006 (Verburg et al., 2015). En las últimas décadas, la ciencia del cambio del suelo (*LCS*) ha surgido como un campo de investigación interdisciplinario independiente, que involucra a científicos de las ciencias sociales, económicas, geográficas, filosóficas y naturales y que busca

abordar teorías, conceptos y modelos para comprender las dinámicas del cambio en la cobertura y el uso del suelo en un entorno inter- y transdisciplinario (Rindfuss et al., 2004; Turner et al., 2007; Verburg et al., 2015). Esta trayectoria, desde el reconocimiento inicial del fenómeno hasta la consolidación de la ciencia del cambio terrestre como campo interdisciplinario, se sintetiza en la Figura 1.

**Figura 1. Desarrollo de la investigación sobre cambio de uso y la cobertura del suelo**



Fuente: Elaborado por los autores, basado en la síntesis de la literatura (Anexo 1)

A medida que el campo se consolidaba, la modelización del uso del suelo se desarrolló a partir de dos tradiciones diferenciadas.

## Modelización de uso del suelo

La modelización del uso del suelo se ha desarrollado a partir de contribuciones tanto de las ciencias naturales como de las ciencias sociales. Los modelos que se basan principalmente en enfoques de las ciencias naturales se han concentrado en representar las dinámicas de la cobertura del suelo y los patrones espaciales a macroescala, representados espacialmente mediante teledetección (*remote sensing*) y sistemas de información geográfica en el marco de enfoques de modelización, a menudo vinculando las macropropiedades de la organización social con los patrones del paisaje observados (Verburg et al., 2004). En paralelo, muchos modelos con raíces en las ciencias sociales se basan predominantemente en supuestos heredados de la economía, en particular, la maximización de la utilidad y la elección racional, para explicar las decisiones sobre el uso del suelo (Malek et al., 2019; Schill et al., 2019). Estos modelos han contribuido a la síntesis de resultados y a la estructuración de la discusión con actores sociales involucrados; sin embargo, siguen representando de manera insuficiente explicaciones clave de las dinámicas de los sistemas de uso del suelo que son bien conocidas a partir de estudios cualitativos (Verburg et al., 2019). Si bien las imágenes satelitales proporcionan datos valiosos para detectar cambios en la superficie terrestre, los factores impulsores de estos cambios aún deben identificarse y validarse con información adicional basada, por ejemplo, en datos *in situ*, datos históricos o conocimiento experto (Gomes et al., 2020). Esta limitación de los enfoques centrados en variables económicas y biofísicas ha impulsado

un creciente reconocimiento de los factores culturales-cognitivos en las decisiones de uso del suelo.

## Factores culturales-cognitivos

Se ha reconocido que numerosos factores culturales-cognitivos influyen en la toma de decisiones en torno al uso del suelo, tales como actitudes, valores, creencias, percepciones individuales y memoria socioecológica (*social-ecological memory*) (Lambin et al., 2003; Plieninger et al., 2016; Rueda et al., 2019; Stoll-Kleemann, 2015; Coral et al., 2020). Una revisión de 137 estudios de caso sobre los factores impulsores subyacentes del cambio de uso agrícola del suelo destaca el papel de las decisiones de los agricultores en el cambio de uso del suelo (van Vliet et al., 2015). Meyfroidt (2013) analiza teorías relevantes sobre la cognición ambiental (*environmental cognition*) y formula tres proposiciones sobre cómo pueden avanzar los estudios empíricos y de modelización en la ciencia del cambio terrestre. Estas proposiciones plantean que las elecciones de uso del suelo resultan de múltiples procesos de toma de decisiones sustentados en diversos motivos, influenciados por normas sociales, emociones, creencias y valores relacionados con el ambiente; y que las retroalimentaciones socioecológicas están mediadas por cogniciones ambientales, es decir, por procesos de significación, percepción, interpretación y evaluación del cambio ambiental, así como por la toma de decisiones (Meyfroidt, 2013).

Asimismo, los agentes humanos conservan y transmiten sus creencias, valores y conocimientos para adaptarse a un nuevo conjunto de condiciones culturales y ambientales (Barthel et al., 2010; Coral et al., 2020; Skaloš y Kašparová, 2012). Por ejemplo, los pueblos indígenas y sus interconexiones espirituales y culturales con la tierra constituyen una de las formas más antiguas de custodia

del territorio, cuya sostenibilidad es cada vez más respaldada por la evidencia científica (Willemsen et al., 2020). Además, una parte significativa de la biodiversidad mundial se encuentra en territorios habitados, gestionados o custodiados por pueblos indígenas; no obstante, históricamente, el conocimiento indígena ha sido en gran medida pasado por alto en el discurso climático y en informes de evaluación global, incluidos aquellos vinculados con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Redvers et al., 2022).

Sin embargo, factores como la tenencia de la tierra, los vínculos culturales de las comunidades indígenas con la tierra, los usos tradicionales del suelo y fenómenos sociales como la corrupción son particularmente difíciles de representar en marcos de modelización econométrica (Piquer-Rodríguez et al., 2018). Las metodologías y técnicas de las ciencias sociales, como la teoría fundamentada, el análisis narrativo y el análisis de entrevistas de historia de vida, podrían facilitar la comprensión de los procesos culturales-cognitivos, así como de la forma en que los individuos, las comunidades y los pueblos indígenas se relacionan con su ambiente (Maines y Bridger, 1992; Rasmussen, 2005; van der Does y Arce, 1998; Coral et al., 2020). La incorporación de estos factores plantea, además, una dificultad metodológica de fondo: cómo conectar las decisiones individuales con los patrones agregados que emergen de ellas.

## La modelización basada en variables y sus límites explicativos

Los cambios individuales y generacionales están asociados con cambios de uso del suelo; a medida que las for-

mas de comprender y valorar el territorio se transforman con el tiempo, también pueden surgir reformas, innovaciones, nuevas prácticas y nuevas tendencias (Coral et al., 2020). Por lo tanto, se necesita más investigación para comprender cómo los factores culturales-cognitivos influyen en el uso del suelo. Como observó Bryant (1998), una tarea central de la investigación es comprender cómo se constituye el ambiente mediante disputas tanto por las prácticas materiales que transforman el territorio como por los significados a través de los cuales distintos actores interpretan y valoran esas transformaciones. Asimismo, los cambios suelen ocurrir de forma interrelacionada y simultánea, lo que pone de manifiesto la necesidad de un enfoque integrado para abordar el cambio ambiental (Iwamura et al., 2016). Sin embargo, los investigadores han señalado dificultades para conectar teorías y metodologías capaces de interconectar los niveles micro y macro (Verburg et al., 2004).

Los investigadores de las ciencias sociales tienen una larga tradición en el estudio del comportamiento individual, a menudo basada en supuestos de maximización de la utilidad, pero con frecuencia enfrentan dificultades para identificar propiedades emergentes visibles en niveles superiores y aspectos “no racionales” de la toma de decisiones (Schill et al., 2019). En particular, los modelos económicos estándar, incluida una parte importante de la economía ambiental y de los recursos naturales, tienden a representar el comportamiento humano mediante supuestos simplificados, lo que puede limitar la incorporación de dimensiones sociales, cognitivas y contextuales de la toma de decisiones (Schill et al., 2019). En el contexto del cambio de uso del suelo, estas limitaciones pueden traducirse en la omisión de dinámicas sociocognitivas que influyen en las decisiones de los actores y que trascienden los incentivos económicos, como la difusión, la anticipación y el aprendizaje. Esta omisión puede

generar un sesgo hacia la representación de cambios de uso del suelo como respuestas inmediatas y directas a estímulos económicos, en lugar de procesos que se desarrollan gradualmente a través de trayectorias temporales más prolongadas, limitando la comprensión de las respuestas asociadas a estímulos sociales o ambientales (Brown et al., 2017). Como consecuencia, algunos modelos pueden producir proyecciones relativamente homogéneas y temporalmente discretas, con una representación limitada de la diversidad y complejidad de la toma de decisiones humana (Brown et al., 2017; Titeux et al., 2017).

De manera similar, una revisión de metaestudios sobre la ciencia del uso del suelo revela que se centran principalmente en la biodiversidad y los ciclos biogeoquímicos (van Vliet et al., 2015). En contraste, los metaestudios sobre las consecuencias socioeconómicas son relativamente escasos, ya que los impactos sociales, culturales y económicos del cambio de uso del suelo y la interacción entre los actores y su ambiente suelen perderse en los procesos de generalización y codificación (van Vliet et al., 2015). En consecuencia, se ha señalado que la comunidad de investigación sobre el cambio global tiende a producir una narrativa del Antropoceno dominada por las ciencias naturales y centrada en el cambio ambiental más que en el cambio social (Lövbrand et al., 2015).

Este debate sobre las explicaciones apropiadas del cambio ha sido constante en las ciencias sociales. Por ejemplo, Coleman (1986), observó que la asociación estadística entre variables ha reemplazado en gran medida a las conexiones significativas entre eventos como herramienta básica de descripción y análisis. Abbott (1992), citado en Hedström y Swedberg (1998), también observó que, en la tradición de modelización causal (*causal modeling tradition*), “son las variables, y no los actores las que actúan”. Lazer et al. (2021) subrayan la necesidad

de reflexionar sobre el impacto de las mediciones en las actitudes y el comportamiento, dado que la inestabilidad de las reglas que gobiernan la sociedad humana se ve exacerbada por los propios sistemas sociotécnicos que recopilan datos sobre las personas. En conjunto, estas contribuciones sugieren que explicar el cambio de uso del suelo requiere ir más allá de la identificación de asociaciones entre variables y considerar cómo los actores, las mediciones, los contextos institucionales y los sistemas sociotécnicos contribuyen a la configuración del cambio observado. Estas tensiones se agudizan a medida que la creciente disponibilidad de datos convive con objetivos y valores que los datos por sí solos no capturan.

## Datos, valores y preguntas fundamentales del uso del suelo

Cada vez más, la información técnica impulsada por la ciencia (*science-driven technical information*) se enfrenta a objetivos impulsados por valores (*value-driven objectives*) de la población local. Esta tensión se vuelve especialmente relevante cuando los modelos incorporan supuestos explícitos sobre variables exógenas que actúan como importantes impulsores del cambio en los sistemas agrícolas, como las condiciones de mercado (Sterk et al., 2006). Sterk et al. (2006) sostienen que una cuestión crucial relacionada con el impacto de un modelo determinado radica en el proceso de “reencuadre” (*reframing*), definido como el reconocimiento de los problemas, intereses y modelos mentales de las personas involucradas, más que en cualquier indicador ambiental *per se*.

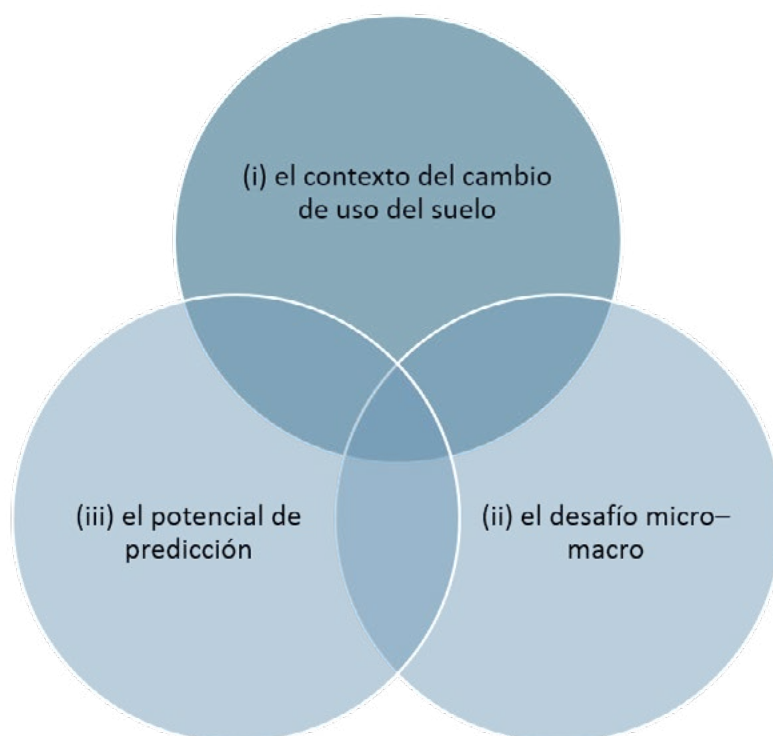
Desde 1972, se adquieren de manera rutinaria datos de alta calidad, que se procesan en una gama cada vez más amplia de productos digitales utilizados para medir y monitorear los recursos de la Tierra (Morain, 1998).

A medida que los grandes conjuntos de datos socioeconómicos y derivados de la teledetección se vuelven más ampliamente disponibles mediante iniciativas de acceso abierto, y conforme avanzan la ciencia y la tecnología, este artículo subraya la importancia de mantener el foco en preguntas más fundamentales sobre el uso del suelo y sus dimensiones humanas asociadas. En este contexto, comprender cómo distintas tradiciones disciplinarias explican el cambio de uso del suelo se vuelve esencial para identificar los desafíos conceptuales que continúan limitando la integración teórica; desafíos que este artículo sintetiza en tres brechas explicativas presentadas a continuación.

## RESULTADOS

El análisis conceptual comparativo cualitativo identificó tres brechas explicativas recurrentes entre las tradiciones disciplinarias revisadas. Estas brechas no representan deficiencias de las disciplinas individuales; más bien, reflejan desafíos persistentes que surgen al integrar perspectivas complementarias para explicar el cambio de uso del suelo. Con base en este análisis, sintetizamos tres brechas explicativas relacionadas con: (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro-macro y (iii) el potencial de predicción (Figura 2). Las siguientes secciones presentan cada brecha explicativa y discuten sus implicaciones para la investigación sobre el uso del suelo.

**Figura 2. Brechas explicativas relacionadas para explicar el cambio de uso del suelo**



## Brecha explicativa 1: el “contexto” del cambio de uso del suelo

El cambio de uso del suelo se entiende ampliamente como el resultado directo de decisiones humanas, influenciadas por una variedad de factores impulsores y procesos socioeconómicos y biofísicos específicos del contexto (*context-specific socio-economic and biophysical drivers and processes*) (Malek et al., 2019). Sin embargo, el contexto en el que ocurre el cambio de uso del suelo suele considerarse un conjunto de condiciones iniciales o factores predisponentes (*predisposing factors*) (Geist et al., 2006). En esta sección, argumentamos que el contexto no debe considerarse meramente una condición de fondo, sino un elemento constitutivo del cambio de uso del suelo.

Por ejemplo, factores ambientales predisponentes, como las características biofísicas del suelo (calidad del suelo, topografía) y los peligros naturales (sequías, inundaciones, deslizamientos de tierra), así como aspectos sociales (necesidades básicas o conflictos), pueden condicionar procesos que inciden en la deforestación (Geist y Lambin, 2002). Este punto también se ilustra en el marco ampliamente aplicado de los vínculos entre las actividades humanas y el uso y la cobertura del suelo desarrollado por Ojima et al. (1994), donde las fuerzas impulsoras (*driving forces*) se incorporan en una categoría de contexto social. Sin embargo, la investigación ha demostrado que la creciente demanda de una materia prima, por ejemplo, la soya proveniente de China, puede ser una variable lenta clave (*key slow variable*) y, al mismo tiempo, ser considerada exógena al sistema, dependiendo de cómo se definan los límites del sistema (Ramankutty y Coomes, 2016).

No obstante, Clarke (2005) cuestiona la idea de tratar el contexto como un entorno externo a la acción. Al sostener que “no existe tal cosa como el contexto”, la autora enfatiza que los elementos condicionales de una situación deben especificarse en el análisis de la situación misma; por lo tanto, son constitutivos de ella, y no elementos que simplemente la rodean, la enmarcan o contribuyen a ella. Coral et al. (2020) muestran que los llamados factores contextuales pueden afectar las decisiones de uso del suelo a nivel individual o familiar, que constituye un nivel clave para comprender la interacción dinámica entre actores humanos y medio ambiente. A través del aprendizaje experiencial y la interacción, los individuos y las comunidades tienen la capacidad de generar procesos de cambio, por ejemplo, procesos de reforestación y deforestación. Esto sugiere que algunas de las llamadas condiciones contextuales no son meramente condiciones de fondo, sino que son constitutivas del propio cambio de uso del suelo (Coral et al., 2020). A modo de ilustración, en Ecuador, en los Andes noroccidentales, el descontento social combinado con el deseo de poseer tierra y la posibilidad de prosperar mediante su tenencia, motivaron a antiguos trabajadores de haciendas a ocupar “tierras baldías” en la década de 1950. Este descontento surgió de las duras condiciones de vida y de trabajo en las llamadas haciendas, regidas por instituciones coloniales: formas de producción hacendaria de carácter feudal. Además, el fortalecimiento de los movimientos indígenas y campesinos ecuatorianos, los intentos de los terratenientes por modernizar sus emprendimientos agrícolas y la influencia política de la Revolución cubana contribuyeron a que el gobierno ecuatoriano considerara una reforma agraria integral en las décadas de 1960 y 1970 (Coral et al., 2021).

Otro tema esencial que debe reconsiderarse es la división artificial entre factores institucionales y factores

culturales. Los factores institucionales y los factores culturales suelen describirse como dos fuerzas impulsoras subyacentes distintas del declive forestal (Geist y Lambin, 2002; Plieninger et al., 2016). La cultura, las cosmovisiones y las ideologías desempeñan un papel esencial en la explicación del cambio institucional en contextos de uso del suelo. Algunas reglas no son simplemente sistemas regulatorios, sino también marcos culturales-cognitivos que definen la naturaleza, los intereses y los derechos de los actores (Dacin et al., 2002). Ferguson y Weaselboy (2020) muestran que, en muchas sociedades indígenas, la tierra no se entiende únicamente como un espacio físico delimitado, sino como un espacio culturalmente significativo que articula relaciones entre seres humanos, no humanos, vivos y ancestros.

Desde un punto de vista institucional, Roland (2008) observa que aquello que a menudo se denomina “cultura”, incluidos los valores, creencias y normas sociales, puede clasificarse como una institución de cambio lento (*slow-moving institution*). De manera similar, la investigación sobre sistemas socioecológicos explora cómo las instituciones formales e informales configuran las interacciones socioecológicas y, a su vez, son configuradas por ellas (véase Ostrom, 1990, 2009). Las metodologías de las ciencias sociales, como la teoría fundamentada y el análisis narrativo, podrían contribuir a identificar qué condiciones operan de manera estructural, es decir, cuáles favorecen cambios en el contexto y ajustes en la interacción humana.

El papel de las condiciones contextuales requiere mayor investigación, en particular para comprender mejor cómo los factores culturales, las instituciones y la agencia humana interactúan para dar forma al cambio de uso del suelo. En conjunto, este análisis sugiere que las condiciones contextuales no deberían tratarse meramente como variables de fondo, sino como componentes

constitutivos del cambio de uso del suelo que moldean la toma de decisiones humanas, las dinámicas institucionales y los resultados ambientales en múltiples escalas espaciales y temporales.

## Brecha explicativa 2: el desafío “micro-macro”

En el campo de investigación de la modelización del uso del suelo, la creciente conciencia sobre las dependencias de escala (scale dependencies) y los problemas de escalamiento ascendente (upscaling problems) ha llevado a los modeladores del uso del suelo a desarrollar enfoques para abordar múltiples escalas (Malek y Verburg, 2020; Verburg et al., 2004). En particular, comprender cómo los patrones de toma de decisiones a escala local contribuyen a explicar el cambio de uso del suelo a escalas más amplias sigue siendo un desafío importante de investigación (Verburg et al., 2004).

Otro desafío en la modelización del uso del suelo es cuantificar las interacciones entre procesos que operan a diferentes escalas. La estadística multinivel ofrece una vía inicial para abordar este problema, aunque aún se requieren desarrollos metodológicos adicionales. A pesar de los estudios que evidencian la diversidad en la toma de decisiones, estos conocimientos aún no se reflejan plenamente en la mayoría de las evaluaciones globales ni en los modelos de uso del suelo. Estos suelen asumir modos relativamente uniformes de toma de decisiones que no capturan adecuadamente la diversidad empírica observada (Malek y Verburg, 2020; Titeux et al., 2017), y con frecuencia, incorporan alguna forma de racionalidad económica como base de las decisiones de manejo del uso del suelo (Brown et al., 2017).

La distinción entre los niveles macro y micro suele ser artificial, ya que las relaciones entre los seres humanos y el medio ambiente constituyen procesos dinámicos y entrelazados; el desafío radica, más bien, en determinar cómo analizarlas a lo largo de distintos niveles. A menudo, la elección de una escala determinada en los modelos de uso del suelo se basa en razones arbitrarias o subjetivas, o en la tradición científica (Verburg et al., 2004). Sin embargo, se ha observado que los procesos a nivel local están integrados en procesos globales y se manifiestan simultáneamente en varios niveles (Coral et al., 2020). Otras perspectivas muestran que la mayoría de las situaciones, procesos sociales, son una combinación de condiciones micro vinculadas al individuo y condiciones macro que trascienden al individuo, por ejemplo, condiciones históricas, sociales y políticas, que interactúan entre sí (Corbin y Strauss, 2015).

En el campo de la sociología, el modelo macro–micro–macro de Coleman (1986) ofrece una forma de conceptualizar la acción social y explicar el cambio y la variación a nivel macro. Este modelo muestra cómo los estados macro (macro-states) en un momento determinado influyen en el comportamiento de los actores individuales y cómo estas acciones se combinan para producir nuevos estados macro en un momento posterior. Las entidades o eventos a nivel macro están vinculados entre sí mediante combinaciones de mecanismos situacionales, de acción individual y transformacionales (Hedström y Swedberg, 1998). De manera similar, investigaciones recientes en sistemas socioecológicos han enfatizado que los fenómenos emergentes surgen de interacciones entre niveles organizativos y, por lo tanto, requieren enfoques analíticos capaces de representar explícitamente las dinámicas transescalares (Schlüter et al., 2019).

En décadas recientes, la búsqueda de significado social a partir del “píxel” de las imágenes espaciales (*geo-*

*graphic imagery pixel*) ha dado lugar a diversos enfoques para comprender las causas y estructuras subyacentes que configuran la toma de decisiones sobre el uso del suelo y el cambio ambiental (Geoghegan et al., 1998). Esta agenda de investigación ha seguido evolucionando mediante esfuerzos recientes para integrar la observación de la Tierra (*Earth observation*) con datos sociales, enfoques participativos y colaboración interdisciplinaria, fortaleciendo aún más los vínculos entre la información obtenida mediante teledetección y las dimensiones humanas del cambio de uso del suelo (Kugler et al., 2019; Tellman et al., 2020). Por ejemplo, se han utilizado enfoques que abarcan desde los píxeles hasta los paisajes para analizar las respuestas de la biodiversidad a los paisajes cambiantes y la provisión de servicios ecosistémicos (Bürgi et al., 2022).

Los hallazgos de Santos et al. (2019) subrayan la importancia de reducir la escala analítica (*downscaling*) de los problemas globales a la escala local y de evaluar los factores impulsores individuales del cambio de uso del suelo en sistemas socioecológicos acoplados (*coupled socioecological systems*). Para este propósito, concluyen que se necesita experiencia interdisciplinaria e intercambio transdisciplinario para fomentar una mejor comprensión de los sistemas socioecológicos acoplados desde las escalas locales hasta las globales (Santos et al., 2019). Asimismo, trabajos recientes han demostrado enfoques prácticos para formalizar teorías de la toma de decisiones humana en modelos basados en agentes (*agent-based models*), al tiempo que destacan los desafíos persistentes asociados con la representación de la complejidad conductual (*behavioural complexity*) y las influencias contextuales (Schwarz et al., 2020). Sin embargo, para abordar la llamada brecha micro–macro e integrar el cambio de uso del suelo en modelos multiescalares, es necesario identificar qué aspectos del manejo del uso del suelo y de las políticas siguen insuficientemente representados en los modelos

actualmente disponibles. Esto requerirá una mayor adquisición de datos, así como métodos y esfuerzos interdisciplinarios adicionales de modelización (Titeux et al., 2017). En conjunto, este análisis destaca que explicar el cambio de uso del suelo requiere una integración más sólida de la diversidad conductual entre distintas escalas analíticas, vinculando la toma de decisiones individual con las dinámicas emergentes a nivel del sistema, en lugar de tratarlas como dominios explicativos separados.

## Brecha explicativa 3: potencial de “predicción”

Los modelos de uso del suelo se han utilizado para describir, simular, predecir y orientar la toma de decisiones en el estudio de cambios de uso del suelo (De Rosa et al., 2016; Veldkamp y Lambin, 2001; Verburg et al., 2004). Algunos modelos también han sido utilizados no solo para pronosticar (*forecasting*), sino también para orientar decisiones e influir indirectamente en el comportamiento de los actores involucrados (Pereira et al., 2003). En otras palabras, la modelización del uso del suelo suele dividirse en enfoques de reconstrucción retrospectiva de dinámicas históricas y modelización de escenarios futuros (Prestele et al., 2017). Sin embargo, predecir con precisión los patrones futuros de uso del suelo sigue siendo sumamente desafiante debido a la complejidad de las dinámicas socioecológicas (Mallampalli et al., 2016). Muchos cambios de régimen de uso del suelo son impulsados por los llamados eventos externos o exógenos, por ejemplo, cambios de política pública, choques de precios o conflictos armados, los cuales son difíciles de anticipar. No obstante, una comprensión más profunda de los cambios de régimen de uso del suelo puede contribuir a

anticipar el cambio futuro de uso del suelo (Ramankutty y Coomes, 2016). Otro problema señalado en la literatura es que, en la práctica, la distinción entre explicación y predicción suele ser difusa. En este sentido, evaluar las explicaciones por su capacidad para generar predicciones permite someterlas a una prueba más exigente y puede revelar que su poder explicativo es más limitado de lo que inicialmente se suponía (Hofman et al., 2021). Las explicaciones del cambio informadas por teorías de las ciencias sociales desempeñan un papel clave en la modelización, ya sea como fuente de supuestos, por ejemplo, variables contextuales relevantes o como punto de referencia para contrastar dichos supuestos.

A pesar de la complejidad de los sistemas humano-ambientales, una mejor comprensión de las dinámicas del sistema puede apoyar una toma de decisiones más informada y robusta mediante la integración de múltiples fuentes de conocimiento, incluidas la teledetección, los datos censales y de encuestas de hogares, y las narrativas que reflejan la memoria colectiva y la cultura política. El análisis del proceso y del contexto del uso del suelo puede aportar conocimiento sobre lo que debe evitarse y lo que debe preservarse a partir de decisiones y ciclos pasados (Coral et al., 2020). Desde una perspectiva sistémica, identificar los factores estructurales que impulsan el cambio podría revelar patrones explicativos y predictivos. Sin embargo, persisten preguntas abiertas sobre cómo se originan estos factores estructurales observables, por qué algunas diferencias resultan más relevantes que otras y cómo ciertos patrones de variación se reproducen de manera preferencial. Como señalaron Holling et al. (2001), la complejidad de los sistemas vivos de personas y naturaleza no emerge de una asociación aleatoria de numerosos factores interactuantes, sino de un número reducido de procesos controladores. Estos procesos críticos crean y mantienen la autoorganización (*self-organization*) del sistema.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que mejorar la capacidad de predicción de la investigación sobre el uso del suelo depende no solo de los avances en las técnicas de modelización, sino también del fortalecimiento de los fundamentos explicativos sobre los que se construyen las predicciones.

## DISCUSIÓN

El análisis conceptual comparativo cualitativo identificó tres brechas explicativas recurrentes relacionadas con la representación del contexto, el desafío micro–macro y el potencial de predicción. En conjunto, estos hallazgos sugieren que, a pesar de los avances sustanciales en la ciencia de los sistemas de uso del suelo (*LSS*), la observación de la Tierra (*Earth observation*), la investigación en sistemas socioecológicos y la modelización participativa, persisten desafíos importantes para lograr una integración efectiva de perspectivas disciplinarias complementarias orientadas a explicar el cambio de uso del suelo. Más que señalar limitaciones de disciplinas individuales, las brechas identificadas muestran que mejorar las explicaciones del cambio de uso del suelo depende tanto de la integración de perspectivas teóricas complementarias como de los avances en la disponibilidad de datos y en las técnicas de modelización. En este sentido, las brechas identificadas señalan oportunidades para fortalecer la integración teórica y mejorar futuras investigaciones y modelos sobre el uso del suelo.

Los modelos y marcos existentes han aportado conocimientos valiosos y mejorado significativamente la comprensión de los procesos y dinámicas asociados al cambio de uso del suelo. Aun así, se requiere más investigación para incorporar procesos de largo plazo desde una

perspectiva histórica, sin perder de vista los vínculos con los actores sociales cuyas decisiones han configurado históricamente, y que, a su vez, han sido configurados por estos procesos de cambio de uso del suelo.

El programa de Cambio de Uso y la Cobertura del Suelo (LUCC) destacó que mejorar los modelos de cambio de uso del suelo requiere una mejor integración de datos de las ciencias sociales, incluida la toma de decisiones de los agentes, con los factores impulsores biofísicos, así como una representación más adecuada de desfases temporales (*time lags*) y umbrales (*thresholds*), junto con la integración de datos de múltiples fuentes (Lambin y Geist, 2006).

La teledetección constituye una herramienta sobresaliente para cuantificar el cambio de uso y la cobertura del suelo, pero requiere información socioeconómica adicional, por ejemplo, datos censales y encuestas de hogares, así como explicaciones contextualizadas y empíricamente fundamentadas del comportamiento humano, derivadas de narrativas, enfoques sistémicos y basados en agentes, análisis de redes o cartografía participativa, entre otros (Iwamura et al., 2016; Muro et al., 2020). En este contexto, la discusión teórica sobre “socializar el píxel” y “pixelizar lo social” (*socializing the pixel* and *pixelizing the social*) (Geoghegan et al., 1998) ha continuado desarrollándose mediante enfoques que buscan vincular explícitamente unidades espaciales derivadas de la observación con procesos sociales subyacentes, mediante la integración de datos de observación de la Tierra con información social y enfoques participativos (Kugler et al., 2019; Tellman et al., 2020).

Además, la modelización participativa ha tenido numerosas aplicaciones recientes que han favorecido procesos de aprendizaje conjunto entre científicos y actores sociales involucrados (Verburg et al., 2019; Muro et al., 2020). Junto con avances recientes en la investigación so-

bre sistemas socioecológicos, que han mejorado la representación de dinámicas emergentes y de la complejidad conductual en sistemas acoplados humano-ambientales (*coupled human-environment systems*) (Schlüter et al., 2019; Schwarz et al., 2020), estos desarrollos ilustran el progreso sustancial que la ciencia de los sistemas de uso del suelo (*LSS*) ha logrado en la integración de procesos sociales y ambientales entre distintas escalas.

No obstante, pese a estos avances considerables, nuestro análisis indica que persisten desafíos explicativos relevantes relacionados con la representación del contexto, la diversidad conductual y las interacciones entre escalas. En la medida en que los modelos incorporen de manera más adecuada las diversas formas en que las personas gestionan, usan e interactúan con los ecosistemas, será más factible utilizar sus resultados para anticipar los efectos de las actividades humanas sobre la biodiversidad (Titeux et al., 2017).

Durante las últimas décadas, la ciencia del cambio del suelo (*LCS*) y la ciencia de los sistemas de uso del suelo (*LSS*) han enfatizado crecientemente la recopilación de información sobre el uso del suelo y las evaluaciones interdisciplinarias, incluida la información cualitativa y los métodos etnográficos para capturar transformaciones complejas del uso del suelo, así como factores psicológicos que influyen en las decisiones de uso del suelo (Friis y Nielsen, 2017; Rueda et al., 2019; Coral et al., 2020). Sin embargo, aún se requiere mayor trabajo para desarrollar marcos teóricos más integrales del cambio de uso del suelo, anclados en el subsistema social y con vínculos explícitos con el subsistema ambiental (Turner et al., 2020).

Alcanzar este objetivo requiere avanzar desde la incorporación aislada de variables sociales, culturales o conductuales hacia marcos analíticos capaces de representar cómo los actores interpretan su contexto, toman decisiones y generan dinámicas emergentes a diferentes

escalas, aprovechando al mismo tiempo el progreso significativo ya alcanzado en la investigación sobre el uso del suelo.

En términos metodológicos, esto implica combinar enfoques complementarios, por ejemplo, integrar información derivada de la observación de la Tierra con datos socioeconómicos, narrativas históricas, entrevistas y conocimiento local para comprender los procesos sociales y culturales que subyacen a los patrones espaciales observados.

También exige incorporar de manera sistemática explicaciones culturales del cambio de uso del suelo, lo que implica promover la colaboración no solo entre disciplinas, sino también con comunidades fuera del ámbito académico (le Polain de Waroux et al., 2021). Esto se debe a que las explicaciones, derivadas principalmente de tradiciones científicas occidentales pueden no reflejar plenamente las diversas formas en que los pueblos indígenas y las comunidades campesinas comprenden y experimentan el cambio ambiental, especialmente en contextos marcados por actividades extractivas (Torres y Verschoor, 2020).

Además, se requieren metodologías que permitan documentar, movilizar y reconocer el conocimiento indígena respetando sus formas propias de producción y transmisión. En este sentido, el desarrollo y uso de metodologías y enfoques de investigación indígenas pueden ser fundamentales para garantizar que los procesos de investigación mantengan su legitimidad, validez, sofisticación y fortaleza dentro y entre comunidades (Redvers et al., 2022). Este conocimiento puede aportar perspectivas valiosas para la planificación comunitaria, el diseño de políticas y el desarrollo de soluciones más sostenibles fundamentadas en conocimientos locales, experienciales e indígenas. Sin embargo, como señalan Redvers et al. (2022), aunque el conocimiento indígena puede constituir una fuente va-

liosa para la gestión ambiental en distintos contextos, su generalización excesiva puede conducir a la pérdida de su significado, propósito y orientación.

Finalmente, respecto de la naturaleza de las explicaciones científicas, Baas y Emmeche (1997) argumentaron que alcanzar una comprensión científica más profunda e integral de fenómenos complejos requiere situar las explicaciones en marcos dinámicos y dependientes del contexto, en lugar de concebir la explicación científica como un argumento estrictamente deductivo. En este sentido, una oportunidad importante radica en explorar las interacciones no lineales entre procesos sociales y ambientales que configuran la riqueza del comportamiento humano y del funcionamiento ecológico, así como su dependencia mutua (Rindfuss et al., 2008).

Este estudio presenta limitaciones que conviene reconocer explícitamente y que, a su vez, delinean direcciones para la investigación futura.

En primer lugar, la selección de la literatura siguió una estrategia de búsqueda dirigida y selección intencional basada en la experticia de los autores, y no en un protocolo de revisión sistemática con cadenas de búsqueda reproducibles. Esta decisión, coherente con el objetivo de sintetizar desafíos explicativos transversales entre disciplinas heterogéneas, implica una menor replicabilidad estricta; no obstante, la base documental del análisis es trazable mediante la lista completa de referencias y su clasificación por tradición disciplinaria y contribución principal (Anexo 1).

En segundo lugar, el análisis no pretende cubrir de manera exhaustiva todas las ramas de la ciencia que estudian el cambio de uso del suelo, sino un conjunto representativo de tradiciones disciplinarias relevantes; una cartografía sistemática de cada disciplina excede el alcance de este trabajo. En consecuencia, una dirección valiosa para la investigación futura consiste en desarrollar

revisiones focalizadas, potencialmente sistemáticas, dentro de disciplinas específicas, que permitan profundizar en cómo cada tradición aborda las brechas aquí identificadas.

En tercer lugar, el análisis se sustentó exclusivamente en la literatura publicada en inglés, lo que implica un predominio de perspectivas desarrolladas en el Norte Global y una posible subrepresentación de contribuciones provenientes de otros contextos lingüísticos, geográficos y epistemológicos. En consecuencia, futuras investigaciones podrían ampliar el alcance de este análisis mediante la incorporación de literatura en español y en otros idiomas, favoreciendo la integración de enfoques desarrollados en el Sur Global y en otros contextos regionales. Esta ampliación contribuiría a enriquecer la diversidad conceptual del campo y a construir marcos explicativos más comprehensivos e inclusivos para el estudio del cambio de uso del suelo.

En conjunto, la discusión muestra que las brechas identificadas no son desafíos aislados, sino dimensiones interrelacionadas de un mismo desafío explicativo: comprender cómo las decisiones humanas, los contextos institucionales y culturales, las dinámicas biofísicas y los procesos multiescalares co-configuran los cambios de uso del suelo. Por ello, fortalecer la investigación futura requiere no solo integrar más datos, sino también clarificar los supuestos teóricos que orientan la interpretación, la modelización y la predicción del cambio de uso del suelo.

## CONCLUSIÓN

Este estudio empleó un análisis conceptual comparativo cualitativo para examinar cómo distintas tradiciones disciplinarias han explicado el cambio de uso del suelo.

El análisis identificó tres brechas explicativas recurrentes relacionadas con la representación del contexto, el desafío micro–macro y el potencial de predicción. Aunque se presentan por separado con fines analíticos, estas brechas explicativas están estrechamente interrelacionadas. En conjunto, sugieren que el avance de la investigación sobre el uso del suelo depende no solo de mejores datos y enfoques de modelización, sino también de una integración teórica más sólida entre perspectivas disciplinarias complementarias.

Los hallazgos indican que el desarrollo de una teoría más integral del cambio de uso del suelo requiere mayor atención al contexto, al comportamiento humano, a la diversidad cultural y a las interacciones entre escalas, al tiempo que continúa construyéndose sobre los importantes avances ya alcanzados en la ciencia de los sistemas de uso del suelo y en campos relacionados. Más que proponer un paradigma alternativo de modelización, este estudio identifica oportunidades para fortalecer los enfoques existentes mediante la mejora de sus fundamentos explicativos y el fomento de una mayor integración interdisciplinaria. En este sentido, la contribución principal del artículo consiste en aclarar problemas explicativos transversales que atraviesan distintas tradiciones disciplinarias, más que en evaluar empíricamente modelos específicos o proponer un marco predictivo cerrado.

En última instancia, fortalecer las explicaciones del cambio de uso del suelo requiere reconocer que el cambio ambiental emerge de interacciones dinámicas entre actores sociales, instituciones y ecosistemas que operan a múltiples escalas espaciales y temporales. Una representación más robusta de estas interacciones constituye una condición clave tanto para mejorar la comprensión científica del cambio de uso del suelo como para diseñar herramientas más eficaces que apoyen la planificación territorial sostenible y la toma de decisiones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baas, N. A., y Emmeche, C. (1997). On emergence and explanation. *Intellectica. Revue de l'Association Pour La Recherche Cognitive*, 25(2), 67–83. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1558>
- Barthel, S., Folke, C., y Colding, J. (2010). Social–ecological memory in urban gardens—Retaining the capacity for management of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 20(2), 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.01.001>
- Brown, C., Alexander, P., Holzhauer, S., y Rounsevell, M. D. A. (2017). Behavioral models of climate change adaptation and mitigation in land-based sectors. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 8(2), e448. <https://doi.org/10.1002/wcc.448>
- Bryant, R. L. (1998). Power, knowledge and political ecology in the third world: A review. *Progress in Physical Geography*, 22(1), 79–94. <https://doi.org/10.1191/030913398674890974>
- Bürgi, M., Celio, E., Diogo, V., Hersperger, A. M., Kizos, T., Lieskovsky, J., Pazur, R., Plieninger, T., Prishchepov, A. V., y Verburg, P. H. (2022). Advancing the study of driving forces of landscape change. *Journal of Land Use Science*, 17, 540–555. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2022.2029599>
- Clarke, A. E. (2005). *Situational analysis: Grounded theory after the postmodern turn*. Sage Publications, Inc.
- Coleman, J. S. (1986). Social Theory, Social Research, and a Theory of Action. *American Journal of Sociology*, 91(6), 1309–1335. <https://www.jstor.org/stable/2779798>
- Coral, C., Bokelmann, W., Bonatti, M., Carcamo, R., y Sieber, S. (2021). *Understanding institutional change mechanisms for land use: Lessons from Ecuador's history*. *Land Use Policy*, 108, 105530. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105530>
- Coral, C., Bokelmann, W., Bonatti, M., Carcamo, R., y Sieber, S. (2020). Agency and structure: A grounded theory approach to explain land-use change in the Mindo and western foothills of Pichincha, Ecuador. *Journal of Land Use Science*, 15(4), 547–569. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1811791>
- Corbin, J., y Strauss, A. (2015). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage Publications, Inc.
- Cramb, R. A., Pierce Colfer, C. J., Dressler, W., Laungaramsri, P., Le, Q. T., Mulyoutami, E., Peluso, N. L., y Wadley, R. L. (2009). Swidden transformations and rural livelihoods in southeast Asia. *Human Ecology*, 37(3), 323–346. <https://doi.org/10.1007/s10745-009-9241-6>
- Dacin, M. T., Goodstein, J., y Scott, W. R. (2002). Institutional theory and institutional change: Introduction to the special research forum. *The Academy of Management Journal*, 45(1), 45–56. <https://doi.org/10.2307/3069284>
- De Rosa, M., Knudsen, M. T., y Hermansen, J. E. (2016). A comparison of land use change models: Challenges and future developments. *Journal of Cleaner Production*, 113, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.097>

- Ferguson, J., y Weaselboy, M. (2020). Indigenous sustainable relations: Considering land in language and language in land. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 43, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.11.006>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., y Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Friis, C., y Nielsen, J. Ø. (2017). Land-use change in a telecoupled world: The relevance and applicability of the telecoupling framework in the case of banana plantation expansion in Laos. *Ecology and Society*, 22(4), 30. <https://doi.org/10.5751/ES-09480-220430>
- Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- Geist, H., McConnell, W., Lambin, E. F., Moran, E., Alves, D., & Rudel, T. (2006). Causes and trajectories of land-use/cover change. En E. F. Lambin & H. J. Geist (Eds.), *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts* (pp. 41–70). Springer.
- Geoghegan, J., Pritchard, L., Jr., Ogneva-Himmelberger, Y., Roy Chowdhury, R., Sanderson, S., & Turner, B. L. (1998). „Socializing the pixel“ and „pixelizing the social“ in land-use and land-cover change. En D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss, & P. C. Stern (Eds.), *People and pixels: Linking remote sensing and social science* (pp. 51–69). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5963>
- Gomes, L. C., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Schulte, R. P. O., Arts, B. J. M., y Fernandes Filho, E. I. (2020). Land use and land cover scenarios: An interdisciplinary approach integrating local conditions and the global shared socioeconomic pathways. *Land Use Policy*, 97, 104723. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104723>
- Guterbock, T. M., Collins, R., Grandjean, B., Hunter, A., y Kayhoe, M. (1980). Sociology and the land-use problem. *Urban Affairs Review*, 15 (3), 243–267. <https://doi.org/10.1177/107808748001500301>
- Heck, V., Hoff, H., Wirsenius, S., Meyer, C., y Kreft, H. (2018). Land use options for staying within the planetary boundaries – Synergies and trade-offs between global and local sustainability goals. *Global Environmental Change*, 49, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.02.004>
- Hedström, P., y Swedberg, R. (1998). Social mechanisms: An introductory essay. En P. Hedström y R. Swedberg (Eds.), *Social mechanisms: An analytical approach to social theory*. Cambridge University Press. <http://people.soc.cornell.edu/swedberg/1998%20Social%20Mechanisms.pdf>
- Hofman, J. M., Watts, D. J., Athey, S., Garip, F., Griffiths, T. L., Kleinberg, J., Margetts, H., Mullainathan, S., Salganik, M. J., Vazire, S., Vespignani, A., y Yarkoni, T. (2021). Integrating explanation and prediction in computational social science. *Nature*, 595(7866), 181–188. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03659-0>

- Holling, C. S., Gunderson, L. H., y Peterson, G. D. (2001). Sustainability and panarchies. En L. H. Gunderson y C. S. Holling (Eds.). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems* (pp. 63–102). Island Press.
- Iwamura, T., Lambin, E. F., Silvius, K. M., Luzar, J. B., y Fragoso, J. M. V. (2016). Socio-environmental sustainability of indigenous lands: Simulating coupled human-natural systems in the Amazon. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 77–83. <https://doi.org/10.1002/fee.1203>
- Kugler, T. A., Grace, K., Wrathall, D. J., de Sherbinin, A., Van Riper, D., Aubrecht, C., Comer, D., Adamo, S. B., Cervone, G., Engstrom, R., Hultquist, C., Gaughan, A. E., Linard, C., Moran, E., Stevens, F. R., Tatem, A. J., Tellman, B., y Van Den Hoek, J. (2019). People and pixels 20 years later: The current data landscape and research trends blending population and environmental data. *Population and Environment*, 41(2), 209–234. <https://doi.org/10.1007/s11111-019-00326-5>
- Lambin, E. F., y Geist, H. (Eds.). (2006). *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts*. Global Change - The IGBP Series. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7>
- Lambin, E. F., Geist, H., y Rindfuss, R. R. (2006). *Introduction: Local processes with global impacts*. En E. F. Lambin y H. Geist (Eds.), *Land-use and land-cover change* (pp. 1–8). Springer.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., y Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205–241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lazer, D., Hargittai, E., Freelon, D., Gonzalez-Bailon, S., Munger, K., Ognyanova, K., y Radford, J. (2021). Meaningful measures of human society in the twenty-first century. *Nature*, 595(7866), 189–196. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03660-7>
- le Polain de Waroux, Y., Garrett, R. D., Chapman, M., Friis, C., Hoelle, J., Hodel, L., Hopping, K., y Zaehring, J. G. (2021). The role of culture in land system science. *Journal of Land Use Science*, 16(4), 450–466. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2021.1950229>
- Lövbrand, E., Beck, S., Chilvers, J., Forsyth, T., Hedrén, J., Hulme, M., Lidskog, R., y Vasileiadou, E. (2015). Who speaks for the future of Earth? How critical social science can extend the conversation on the Anthropocene. *Global Environmental Change*, 32, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.012>
- Maines, D. R., y Bridger, J. C. (1992). Narratives, community and land use decisions. *The Social Science Journal*, 29(4), 363–380. [https://doi.org/10.1016/0362-3319\(92\)90001-X](https://doi.org/10.1016/0362-3319(92)90001-X)
- Malek, Ž., y Verburg, P. H. (2020). Mapping global patterns of land use decision-making. *Global Environmental Change*, 65, 102170. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102170>
- Malek, Ž., Douw, B., Van Vliet, J., Van Der Zanden, E. H., y Verburg, P. H. (2019). Local land-use decision-making in a global context. *Environmental Research Letters*, 14(8), 083006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab309e>

- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duveneck, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C. G., Hychka, K., Kenney, M. A., Kok, K., y Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling and Software*, 82, 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.011>
- Meyfroidt, P. (2013). Environmental cognitions, land change, and social-ecological feedbacks: An overview. *Journal of Land Use Science*, 8(3), 341–367. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.667452>
- Morain, S. A. (1998). A brief history of remote sensing applications, with emphasis on Landsat. En D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss y P. C. Stern (Eds.), *People and pixels: Linking remote sensing and social science*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5963>
- Muchena, F. N., Onduru, D. D., Gachini, G. N., y de Jager, A. (2005). Turning the tides of soil degradation in Africa: Capturing the reality and exploring opportunities. *Land Use Policy*, 22(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.07.001>
- Müller, D. (2016). Research frontiers in land use science. *Journal of Land Use Science*, 11(6), 619–622. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2016.1242924>
- Munroe, D. K., y Müller, D. (2020). Land-system science to support achieving the sustainable development goals. *Journal of Land Use Science*, 15(4), 477–481. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1783085>
- Muro, J., Zurita-Arthos, L., Jara, J., Calderón, E., Resl, R., Rienow, A., y Graw, V. (2020). Earth observation for settlement mapping of Amazonian indigenous populations to support SDG7. *Resources*, 9(8), 97. <https://doi.org/10.3390/RESOURCES9080097>
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., y Anandhi, A. (2021). A synthesis of land use/land cover studies: Definitions, classification systems, meta-studies, challenges and knowledge gaps on a global landscape. *Land*, 10(9), 994. <https://doi.org/10.3390/land10090994>
- OECD. (2020). *Towards sustainable land use: Aligning biodiversity, climate and food policies*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/3809b6a1-en>
- Ojima, D. S., Galvin, K. A., y Turner, B. L. (1994). The global impact of land-use change: To understand global change, natural scientists must consider the social context influencing human impact on environment. *BioScience*, 44(5), 300–304. <https://doi.org/10.2307/1312379>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325, 419–422. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1172133>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Pereira, Â. G., Rinaudo, J.-D., Jeffrey, P., Blasques, J., Corral Quintana, S., Courtois, N., Funtowicz, S., y Petit, V. (2003). ICT tools to support public participation in water resources governance & planning: Experiences from the design and testing of a multi-media platform. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 5(3), 395–420. <https://doi.org/10.1142/S1464333203001383>

- Piquer-Rodríguez, M., Butsic, V., Gärtner, P., Macchi, L., Baumann, M., Gavier Pizarro, G., Volante, J. N., Gasparri, I. N., y Kuemmerle, T. (2018). Drivers of agricultural land-use change in the Argentine Pampas and Chaco regions. *Applied Geography*, 91, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.004>
- Plieninger, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T., Kuemmerle, T., Primdahl, J., 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. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.040>
- Prestele, R., Arneth, A., Bondeau, A., De Noblet-Ducoudré, N., Pugh, T. A. M., Sitch, S., Stehfest, E., y Verburg, P. H. (2017). Current challenges of implementing anthropogenic land-use and land-cover change in models contributing to climate change assessments. *Earth System Dynamics*, 8(2), 369–386. <https://doi.org/10.5194/esd-8-369-2017>
- Ramankutty, N., y Coomes, O. T. (2016). Land-use regime shifts: An analytical framework and agenda for future land use research. *Ecology and Society*, 21(2), 1. <https://doi.org/10.5751/ES-08370-210201>
- Rasmussen, L. B. (2005). The narrative aspect of scenario building - How story telling may give people a memory of the future. *AI and Society*, 19(3), 229–249. <https://doi.org/10.1007/s00146-005-0337-2>
- Redvers, N., Celidwen, Y., Schultz, C., Horn, O., Githaiga, C., Vera, M., Perdrisat, M., Mad Plume, L., Kobei, D., Kain, M. C., Poelina, A., Rojas, J. N., y Blondin, B. (2022). The determinants of planetary health: An Indigenous consensus perspective. *The Lancet. Planetary Health*, 6(2), e156–e163. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00354-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00354-5)
- Rindfuss, R. R., Entwisle, B., Walsh, S. J., An, L., Badenoch, N., Brown, D. G., ... Verburg, P. H. (2008). Land use change: Complexity and comparisons. *Journal of Land Use Science*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/17474230802047955>
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Fox, J., y Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(39), 13976–13981. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401545101>
- Robinson, D. T., Di Vittorio, A., Alexander, P., Arneth, A., Barton, C. M., Brown, D. G., Kettner, A., Lemmen, C., O'Neill, B. C., Janssen, M., Pugh, T. A. M., Rabin, S. S., Rounsevell, M., Syvitski, J. P., Ullah, I., y Verburg, P. H. (2018). Modelling feedbacks between human and natural processes in the land system. *Earth System Dynamics*, 9(2), 895–914. <https://doi.org/10.5194/esd-9-895-2018>
- Roland, G. (2008). Fast-moving and slow-moving institutions. En J. Kornai, M. Mátyás y G. Roland (Eds.). *Institutional change and economic behaviour* (pp. 16–21). Palgrave Macmillan. <https://www.ifo.de/DocDL/dicereport204-forum3.pdf>
- Rueda, X., Velez, M. A., Moros, L., y Rodriguez, L. A. (2019). *Beyond proximate and distal causes of land-use change: Linking individual motivations to deforestation in rural contexts*. *Ecology and Society*, 24(1), 4. <https://doi.org/10.5751/ES-10617-240104>

- Santos, F., Graw, V., y Bonilla, S. (2019). A geographically weighted random forest approach for evaluate forest change drivers in the Northern Ecuadorian Amazon. *PLoS ONE*, 14(12), 1–37. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226224>
- Schill, C., Anderies, J. M., Lindahl, T., Folke, C., Polasky, S., Cárdenas, J. C., Crépin, A. S., Janssen, M. A., Norberg, J., y Schlüter, M. (2019). A more dynamic understanding of human behaviour for the Anthropocene. *Nature Sustainability*, 2(12), 1075–1082. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0419-7>
- Schlüter, M., Haider, L. J., Lade, S. J., Lindkvist, E., Martin, R., Orach, K., Wijermans, N., y Folke, C. (2019). Capturing emergent phenomena in social-ecological systems: An analytical framework. *Ecology and Society*, 24(3), Article 11. <https://doi.org/10.5751/ES-11012-240311>
- Schwarz, N., Dressler, G., Frank, K., Jager, W., Janssen, M., Müller, B., Schlüter, M., Wijermans, N., y Groeneveld, J. (2020). Formalising theories of human decision-making for agent-based modelling of social-ecological systems: Practical lessons learned and ways forward. *Socio-Environmental Systems Modelling*, 2, Article 16340. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16340>
- Skaloš, J., y Kašparová, I. (2012). Landscape memory and landscape change in relation to mining. *Ecological Engineering*, 43, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.07.001>
- Sterk, B., van Ittersum, M. K., Leeuwis, C., Rossing, W. A. H., van Keulen, H., y van de Ven, G. W. J. (2006). Finding niches for whole-farm design models – Contradiction in terminis? *Agricultural Systems*, 87(2), 211–228. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.11.008>
- Stoll-Kleemann, S. (Ed.). (2015). *Local perceptions and preferences for landscape and land use in the Fischland-Darß-Zingst Region, German Baltic Sea*. Greifswalder Geographische Arbeiten Bd. 51. Institut für Geographie und Geologie der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald. <http://e-docs.geo-leo.de/>
- Tellman, B., Magliocca, N. R., Turner, B. L., II, y Verburg, P. H. (2020). Understanding the role of illicit transactions in land-change dynamics. *Nature Sustainability*, 3(3), 175–181. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0457-1>
- Titeux, N., Henle, K., Mihoub, J. B., Regos, A., Geijzendorffer, I. R., Cramer, W., Verburg, P. H., y Brotons, L. (2017). Global scenarios for biodiversity need to better integrate climate and land use change. *Diversity and Distributions*, 23(11), 1231–1234. <https://doi.org/10.1111/ddi.12624>
- Torres, C., y Verschoor, G. (2020). Re-imagining environmental governance: Gold dredge mining vs territorial health in the Colombian Amazon. *Geoforum*, 117, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.09.013>
- Turner, B. L., Lambin, E. F., y Verburg, P. H. (2021). From land-use/land-cover to land system science. *Ambio*, 50(7), 1291–1294. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01510-4>
- Turner, B. L., Meyfroidt, P., Kuemmerle, T., Müller, D., y Chowdhury, R. R. (2020). Framing the search for a theory of land use. *Journal of Land Use Science*, 15(4), 489–508. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1811792>

- Turner, B. L., Lambin, E. F., y Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(52), 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
- Turner, B. L. (1997). The sustainability principle in global agendas: Implications for understanding land-use/cover change. *The Geographical Journal*, 163(2), 133–140. <https://doi.org/10.2307/3060176>
- Van der Does, M., y Arce, A. (1998). The value of narratives in rural development projects: A case from Ecuador. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 5(2), 85–98. <https://doi.org/10.1080/13892249885300211>
- Van Vliet, J., de Groot, H. L. F., Rietveld, P., y Verburg, P. H. (2015). Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 133, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>
- Veldkamp, A., y Lambin, E. F. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85, 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)
- Verburg, P. H., Alexander, P., Nicholas, T. E., Magliocca, R., Malek, Z., Rounsevell, M. D. A., y van Vliet, J. (2019). Beyond land cover change: Towards a new generation of land use models. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.002>
- Verburg, P. H., Crossman, N., Ellis, E. C., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., Nagendra, H., Sikor, T., Erb, K. H., Golubiewski, N., Grau, R., Grove, M., Konaté, S., Meyfroidt, P., Parker, D. C., Chowdhury, R. R., Shibata, H., Thomson, A., y Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 12, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>
- Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., y Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: Current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), 309–324. <https://doi.org/10.1007/s10708-004-4946-y>
- Walters, B. B. (2022). Explaining land use and forest change: More theory or better methodology? *Landscape Ecology*, 38, 4107–4116. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01397-2>
- Willemen, L., Barger, N. N., ten Brink, B., Cantele, M., Erasmus, B. F. N., Fisher, J. L., Gardner, T., Holland, T. G., Kohler, F., Kotiaho, J. S., von Maltitz, G. P., Nangendo, G., Pandit, R., Parrotta, J. A., Potts, M. D., Prince, S. D., Sankaran, M., Brainich, A., Montanarella, L., y Scholes, R. (2020). How to halt the global decline of lands. *Nature Sustainability*, 3(3), 164–166. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0477-x>

### Anexo 1. Clasificación de las referencias por tradición disciplinaria y contribución principal (1980–2022)

| # | Año  | Cita en texto                                  | Disciplina / tradición                     | Contribución principal                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---|------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 1980 | Guterbock, Collins, Grandjean, Hunter & Kayhoe | Sociología                                 | Examina la contribución de la sociología al análisis de conflictos y decisiones de uso del suelo, destacando dimensiones sociales y normativas.                                                                                                                                                                                    |
| 2 | 1990 | Ostrom*                                        | Economía política / Teoría institucional   | Cuestiona la idea de que la privatización o el control estatal sean las únicas soluciones para los problemas de recursos de uso común; mediante análisis institucional y evidencia empírica examina las condiciones bajo las cuales comunidades y organizaciones voluntarias pueden gestionar colectivamente recursos compartidos. |
| 3 | 1992 | Maines & Bridger                               | Sociología / Análisis narrativo            | Analiza el carácter narrativo de las comunidades, planteando que las narrativas son actos sociales integrados en instituciones y en la economía política local; utiliza las decisiones de turismo estatal y uso del suelo como ejemplos de situaciones donde estos procesos narrativos se manifiestan.                             |
| 4 | 1994 | Ojima, Galvin & Turner                         | Ciencias del sistema terrestre / Geografía | Plantea que la comprensión del cambio ambiental global requiere integrar el contexto social con los procesos biofísicos; desarrolla un marco temprano para analizar los vínculos entre actividades humanas, cambio de uso/cobertura del suelo y retroalimentaciones ambientales.                                                   |

|   |      |                                                  |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | 1997 | Turner                                           | Geografía / precursor de Land Change Science                            | Introduce el “principio de sostenibilidad” como un marco para vincular las agendas de cambio ambiental global y desarrollo sostenible; analiza sus implicaciones para comprender los procesos de cambio de uso/cobertura del suelo y contribuye al desarrollo conceptual temprano del campo de Land Change Science.                                                                                                                |
| 6 | 1998 | Bryant*                                          | Ecología política / Geografía                                           | Analiza las dinámicas políticas asociadas a las disputas materiales y discursivas sobre el ambiente en el Sur Global (Tercer Mundo en la literatura de la época); destaca cómo las relaciones de poder desiguales, los sistemas de control político-económico heredados del colonialismo y los discursos ambientales influyen en el acceso a los recursos, la definición de problemas ambientales y las intervenciones de gestión. |
| 7 | 1998 | Geoghegan, Pritchard, Ogneva-Himmelberger et al. | Geografía / Teledetección y ciencias sociales ambientales               | Integra la teledetección con las ciencias sociales para mejorar la comprensión de procesos sociales e interacciones humano-ambientales asociados al cambio de uso/cobertura del suelo; destaca la necesidad de vincular datos espaciales con explicaciones sociales mediante colaboraciones interdisciplinarias.                                                                                                                   |
| 8 | 1998 | Morain*                                          | Teledetección / Ciencias socioambientales / Estudios humano-ambientales | Integra la teledetección espacial con el análisis de procesos sociales y relaciones humano-ambiente, mostrando el potencial de los sensores remotos para estudiar dinámicas sociales y territoriales.                                                                                                                                                                                                                              |

|    |      |                                |                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9  | 1998 | van der Does & Arce            | Estudios del desarrollo rural / Sociología rural                             | Propone una perspectiva narrativa para aprender de experiencias de desarrollo rural; sugiere que las narrativas explican cómo los actores se alinean en la negociación local de proyectos.                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 10 | 2001 | Holling, Gunderson & Peterson* | Ecología de sistemas / Teoría de la resiliencia                              | Desarrolla el concepto de panarquía como un marco para comprender sistemas jerárquicos dinámicos y sus transformaciones; integra conceptos de resiliencia, cambio adaptativo e interacciones entre escalas para analizar la relación entre sistemas ecológicos y sociales en contextos de sostenibilidad.                                                                                                                                           |
| 11 | 2001 | Veldkamp & Lambin              | Modelización de uso del suelo                                                | Desarrolla el papel de los modelos espacialmente explícitos de cambio de uso/cobertura del suelo como herramientas para explorar trayectorias futuras y evaluar los procesos que generan transformaciones territoriales. Propone enfoques integrados y multiescala-res que incorporan factores impulsores sociales y ambientales, así como retroalimentaciones biofísicas entre sistemas humanos y ecológicos.                                      |
| 12 | 2002 | Geist & Lambin                 | Ecología política / Land Change Science/ Estudios de cambio de uso del suelo | Desarrolla un marco analítico que distingue entre causas próximas y fuerzas subyacentes del cambio de cobertura forestal. A partir de una comparación de estudios de caso, demuestra que la deforestación tropical surge de combinaciones regionalmente específicas de factores económicos, institucionales, políticos, tecnológicos y demográficos, cuestionando explicaciones monocausales basadas únicamente en población o prácticas agrícolas. |

|    |      |                                                |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13 | 2003 | Lambin, Geist & Lepers                         | Land Change Science /<br>Sistemas socioecológicos                                                    | Propone un marco conceptual integrador para comprender el cambio de uso y cobertura del suelo como un proceso complejo generado por combinaciones sinérgicas de factores económicos, políticos, sociales y ambientales. Identifica trayectorias dominantes de cambio, incorpora retroalimentaciones entre sistemas humanos y ecosistemas, y plantea el análisis del cambio territorial desde la perspectiva de sistemas adaptativos complejos y estudios multiescales. |
| 14 | 2004 | Rindfuss, Walsh, Turner, Fox & Mishra          | Land Change Science /<br>Ciencias geográficas de información espacial /<br>Ciencias socioambientales | Plantea los desafíos metodológicos para integrar datos sociales, ambientales y espaciales en el estudio del cambio terrestre.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 15 | 2004 | Verburg, Schot, Dijst & Veldkamp               | Modelización del cambio de uso del suelo / Land Change Science /<br>Geografía cuantitativa           | Revisa modelos de cambio de uso del suelo e identifica seis desafíos clave (escala, impulsores, dinámica temporal, interacciones espaciales e integración), proponiendo una nueva generación de modelos multiescales e interdisciplinarios.                                                                                                                                                                                                                            |
| 16 | 2005 | Foley, DeFries, Asner et al.                   | Ecología global / Ciencias ambientales                                                               | Reconceptualiza el uso del suelo como un motor global del cambio ambiental y destaca sus efectos sobre biodiversidad, recursos hídricos, clima y servicios ecosistémicos.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 17 | 2005 | Muchena, Onduru, Gachini & de Jager            | Ciencia del suelo /<br>Sistemas agrícolas /<br>Desarrollo rural                                      | Reevalúa la degradación del suelo en África Oriental, destacando la necesidad de integrar indicadores biofísicos, productivos y socioinstitucionales para comprender su magnitud y causas.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 18 | 2006 | Geist, McConnell, Lambin, Moran, Alves & Rudel | Land Change Science /<br>Ciencias socioambientales /<br>Métodos comparativos                         | Integra estudios de caso y análisis comparativos para identificar patrones generales del cambio de uso/cobertura del suelo, mostrando que las relaciones causales dependen del contexto espacial, temporal e institucional                                                                                                                                                                                                                                             |

|    |      |                                     |                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 19 | 2006 | Lambin & Geist, Eds.                | Land Change Science /<br>Cambio ambiental global<br>(vol. editado)                                | Sintetiza los avances del proyecto LUCC sobre tasas, causas, impactos y escenarios del cambio de uso/cobertura del suelo, destacando su papel como fuerza del cambio del sistema Tierra.                                                                                         |
| 20 | 2006 | Lambin, Geist & Rindfuss            | Land Change Science /<br>Cambio ambiental global                                                  | Establece una agenda teórica para la ciencia del cambio terrestre, integrando procesos humanos y biofísicos, escalas múltiples, retroalimentaciones y vínculos entre gestores de la tierra y patrones espaciales                                                                 |
| 21 | 2006 | Sterk, van Ittersum, Leeuwis et al. | Sistemas agrícolas /<br>Modelización participativa de fincas                                      | Analiza el potencial de los modelos de diseño de fincas para apoyar procesos de innovación agrícola, destacando el papel del “reencuadre” en la reconsideración colectiva de objetivos y problemas.                                                                              |
| 22 | 2007 | Turner, Lambin & Reenberg           | Land Change Science /<br>Cambio ambiental global<br>/ Sistemas humano-ambientales acoplados       | Consolida Land Change Science como un campo interdisciplinario para comprender las dinámicas de uso y cobertura del suelo como sistemas humano-ambientales acoplados, integrando observación, causas, impactos, modelización y síntesis.                                         |
| 23 | 2008 | Rindfuss, Entwisle, Walsh et al.    | Land Change Science /<br>Sistemas socioambientales<br>/ Modelización espacial y basada en agentes | Analiza la complejidad del cambio de uso del suelo y los desafíos para comparar estudios de caso y avanzar hacia la generalización. Destaca la importancia de integrar actores, escalas espaciales y modelos basados en agentes para comprender sistemas humano-ambientales.     |
| 24 | 2009 | Cramb, Colfer, Dressler et al.      | Ecología política /<br>Antropología ambiental /<br>Sistemas socioambientales                      | Analiza las transformaciones de la agricultura migratoria ( <i>swidden</i> ) y sus efectos sobre los medios de vida rurales en el sudeste asiático, destacando la interacción entre mercados, políticas estatales, instituciones locales y estrategias familiares de adaptación. |

|    |      |                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 25 | 2009 | Ostrom*                             | Economía política /<br>Sistemas socioecológicos<br>(SES) / Teoría institucional     | Propone un marco general para analizar sistemas socioecológicos mediante 10 variables del subsistema, explicando las condiciones que favorecen la autoorganización y la gestión sostenible de recursos comunes.                                                                                                                                                                                                                             |
| 26 | 2010 | Barthel, Folke & Colding            | Sistemas socioecológicos<br>(SES) / Ecología urbana /<br>Resiliencia socioecológica | Analiza la memoria socioecológica en huertos urbanos como mecanismo de conservación y transmisión de conocimiento ecológico, mostrando su papel en la resiliencia y provisión de servicios ecosistémicos.                                                                                                                                                                                                                                   |
| 27 | 2012 | Skaloš & Kašparová                  | Ecología del paisaje<br>/ Historia ambiental /<br>Estudios del paisaje              | Propone el concepto de “memoria del paisaje” para analizar la persistencia y transformación de estructuras territoriales históricas, destacando la importancia del contexto espacial y temporal en la interpretación del cambio del paisaje.                                                                                                                                                                                                |
| 28 | 2013 | Meyfroidt                           | Cambio de uso del suelo<br>/ Cognición ambiental /<br>Sistemas socioecológicos      | Propone incorporar las cogniciones ambientales en el análisis del cambio de uso del suelo, mostrando que las decisiones de los actores dependen de percepciones, valores, normas sociales y procesos de interpretación del cambio ambiental. Plantea que las retroalimentaciones socioecológicas modifican creencias y reglas de decisión, mejorando la representación del comportamiento humano en los modelos de cambio de uso del suelo. |
| 29 | 2015 | Lövbrand, Beck, Chilvers<br>et al.* | Ciencias sociales críticas<br>/ Estudios del cambio<br>ambiental global             | Propone una agenda interpretativa para analizar críticamente el Antropoceno como una construcción social y cultural con múltiples significados y trayectorias políticas. Plantea que las ciencias sociales pueden ampliar el debate ambiental examinando los supuestos ontológicos que orientan la comprensión del cambio planetario y las respuestas frente a él.                                                                          |

|    |      |                                              |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30 | 2015 | Stoll-Kleemann, Ed.                          | Geografía humana /<br>Percepción del paisaje<br>/ Ciencias sociales<br>ambientales | Analiza cómo las percepciones locales, valores y sentido de pertenencia influyen en la relación entre población y cambios del paisaje y uso del suelo en una región costera alemana. Muestra que los cambios territoriales son interpretados mediante dimensiones sociales, culturales y emocionales, aportando evidencia sobre la importancia de incorporar perspectivas locales en la gestión del territorio. |
| 31 | 2015 | van Vliet, de Groot,<br>Rietveld & Verburg   | Cambio de uso del suelo /<br>Sistemas agrícolas                                    | Revisa 137 estudios sobre cambio agrícola en Europa, identificando trayectorias de intensificación y desintensificación asociadas a factores económicos, institucionales y tecnológicos, con los agricultores como mediadores clave del cambio.                                                                                                                                                                 |
| 32 | 2015 | Verburg, Crossman, Ellis<br>et al.           | Land System Science /<br>Sistemas socioecológicos                                  | Sintetiza avances de la ciencia de sistemas de uso del suelo, destacando las interacciones humano-ambientales, los trade-offs socioecológicos y el papel de la gobernanza para orientar transformaciones sostenibles.                                                                                                                                                                                           |
| 33 | 2016 | De Rosa, Knudsen &<br>Hermansen              | Modelización del cambio de<br>uso del suelo / Evaluación<br>de Ciclo de Vida       | Clasifica y compara modelos de cambio de uso del suelo aplicados a ACV en categorías económicas, causal-descriptivas y normativas, identificando desafíos de transparencia, datos e integración interdisciplinaria.                                                                                                                                                                                             |
| 34 | 2016 | Iwamura, Lambin, Silvius,<br>Luzar & Fragoso | Sistemas socioecológicos<br>/ Modelización basada en<br>agentes                    | Simula sistemas humano-naturales acoplados en tierras indígenas amazónicas mediante modelos basados en agentes, mostrando cómo múltiples impulsores sociales y ambientales afectan la sostenibilidad.                                                                                                                                                                                                           |

|    |      |                                          |                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 35 | 2016 | Mallampalli, Mavrommati, Thompson et al. | Modelización de escenarios / Cambio de uso del suelo                     | Revisa métodos para traducir escenarios narrativos de cambio de uso del suelo en evaluaciones cuantitativas, destacando la necesidad de procesos transparentes, reproducibles y con participación de expertos y actores.                                                       |
| 36 | 2016 | Müller                                   | Ciencia del uso del suelo (editorial)                                    | Identifica fronteras emergentes de investigación en ciencia del uso del suelo, destacando avances teóricos, modelización de sistemas complejos y nuevos temas prioritarios para comprender sistemas humano–naturales acoplados.                                                |
| 37 | 2016 | Plieninger, Draux, Fagerholm et al.      | Ecología del paisaje                                                     | Realiza una síntesis sistemática de 144 estudios sobre impulsores del cambio de paisaje en Europa; identifica el abandono de tierras como el proceso más frecuente y muestra que combinaciones de factores políticos, culturales, naturales y espaciales determinan el cambio. |
| 38 | 2016 | Ramankutty & Coomes                      | Land Change Science / Sistemas de uso del suelo                          | Propone un marco analítico para estudiar cambios de régimen en el uso del suelo, identificando precondiciones, factores desencadenantes y procesos autorreforzantes como elementos clave de las transiciones territoriales.                                                    |
| 39 | 2017 | Brown, Alexander, Holzhauer & Rounsevell | Modelización de sistemas de uso del suelo / Ciencia del cambio climático | Revisión de modelos de sistemas de tierra que representan comportamientos de adaptación y mitigación climática; halla sesgo hacia lo agrícola, predominio de decisiones económicas y comportamientos dinámicos (difusión, aprendizaje) poco representados.                     |

|    |      |                                      |                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 40 | 2017 | Friis & Nielsen                      | Land System Science /<br>Telecoupling                               | Operacionaliza cualitativamente el marco de “telecoupling” en el boom bananero de Laos; rastrea flujos y procesos distales desde la perspectiva de actores locales, identificando cuatro telecouplings materiales e inmateriales y su potencial de retroalimentación.                                                                                                                                                                                                   |
| 41 | 2017 | Prestele, Arneth, Bondeau et al.     | Modelización de sistemas terrestres / Ciencia del sistema climático | El uso del suelo se implementa de forma simplificada en modelos de biosfera terrestre (TBM) usados por el IPCC, alimentados exógenamente por modelos de evaluación integrada (IAM); identifica tres desafíos clave (series temporales, procesos de sub-grilla, asignación espacial) y propone marcos de modelización integrada.                                                                                                                                         |
| 42 | 2017 | Titeux, Henle, Mihoub et al.         | Ecología / Biodiversidad (perspectiva)                              | Desde el auge del IPCC-SRES (2000), los escenarios de biodiversidad basados en cambio climático han crecido mucho más que los basados en cambio de uso del suelo, pese a que los modelos de evaluación integrada usados por el IPCC capturan solo parcialmente los aspectos del uso del suelo relevantes para biodiversidad (p. ej., intensidad de manejo); hace un llamado a IPBES para coordinar comparaciones de modelos enfocadas específicamente en biodiversidad. |
| 43 | 2018 | Heck, Hoff, Wirsenius, Meyer & Kreft | Modelización de sistemas terrestres / Sostenibilidad                | Mediante optimización multicriterio guiada por el marco de “Límites Planetarios”, desarrolla escenarios alternativos de uso global del suelo que maximizan secuestro de carbono (hasta 98 GtC) y reducción de riesgo a la biodiversidad (hasta 53%), analizando sinergias y balances con metas de los ODS a escala nacional/local.                                                                                                                                      |

|    |      |                                          |                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 44 | 2018 | Piquer-Rodríguez, Butsic, Gärtner et al. | Geografía / Economía agrícola espacial | Mediante un modelo de retornos netos (2000–2010, escala 1 km), muestra que la intensificación agrícola responde fuertemente a la rentabilidad, mientras que la expansión sobre bosques (deforestación) es mucho menos sensible a ella; sugiere que los instrumentos económicos (impuestos, subsidios) tienen potencial limitado para frenar la deforestación frente a intervenciones territoriales o comunitarias.                                 |
| 45 | 2018 | Robinson, Di Vittorio, Alexander et al.  | Modelización de sistemas terrestres    | Ante la ausencia de un marco común para modelar retroalimentaciones humano-naturales, propone un marco conceptual basado en configuración de acoplamiento y frecuencia de comunicación entre modelos; a partir de cuatro enfoques de acoplamiento existentes, extrae ocho lecciones y propone una hoja de ruta técnica (software contenedor, API estandarizada, flujos de trabajo reproducibles) para mejorar la interoperabilidad de los modelos. |
| 46 | 2019 | Kugler, Grace, Wrathall et al.           | Ciencias geoespaciales / Demografía    | A 20 años del volumen fundacional “People and Pixels” (1998), que vinculó cambios demográficos con uso/cobertura del suelo, identifica avances en fuentes de teledetección, datos sociales georreferenciados (incl. móviles) y computación; explora enfoques interdisciplinarios para abordar problemas urgentes (desastres, hambruna, sequía, guerra, pobreza, cambio climático).                                                                 |

|    |      |                                                  |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 47 | 2019 | Malek, Douw, Van Vliet, Van Der Zanden & Verburg | Modelización / Revisión sistemática                | Revisión sistemática 1950–2018 (315 publicaciones, 559 casos, 758 tomadores de decisión) que clasifica a los tomadores de decisión sobre uso del suelo en seis tipos según objetivos, actitudes y capacidades; encuentra que la supervivencia/subsistencia, no lo económico, es el objetivo más común, y detecta un sesgo de representatividad geográfica (regiones montañosas sobrerrepresentadas).                                                                         |
| 48 | 2019 | Rueda, Velez, Moros & Rodriguez                  | Economía del comportamiento / Psicología ambiental | Mediante un instrumento basado en teoría de la autodeterminación (cinco tipos de motivación), estudia el efecto combinado de causas estructurales e individuales de la deforestación en una frontera rural colombiana; halla que las motivaciones intrínsecas se correlacionan con menor deforestación autorreportada, mientras que la amotivación y las motivaciones extrínsecas (p. ej. pagos por conservación esperados) se asocian con mayor probabilidad de deforestar. |
| 49 | 2019 | Santos, Graw & Bonilla                           | Teledetección / Ciencia de datos geoespaciales     | Propone un método que combina regresión geográficamente ponderada (GWR) con random forest –resolviendo la sensibilidad a multicolinealidad de GWR– junto con series de teledetección y mapeo dasimétrico censal; aplicado a la Amazonía ecuatoriana (2000–2010), logra más de 74% de precisión y revela efectos contrastantes entre deforestación y reforestación según aptitud agrícola y accesibilidad.                                                                    |

|    |      |                                          |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 | 2019 | Schill, Anderies, Lindahl, Folke et al.* | Economía del comportamiento / Ciencia de sistemas complejos (perspectiva) | Partiendo de la economía del comportamiento y la psicología cognitiva, propone ampliarlas hacia una comprensión del comportamiento humano como parte de sistemas adaptativos complejos –enculturado” y “enraizado en la tierra” (enearthed), coevolucionando con contextos socioculturales y biofísicos– para informar la gobernanza ambiental y comprender la dinámica del Antropoceno.                 |
| 51 | 2019 | Schlüter, Haider, Lade et al.            | Ciencia de sistemas socioecológicos                                       | sistemas socioecológicosPropone el marco SE-AS de “situaciones de acción vinculadas” para capturar cómo interacciones sociales-ecológicas entre escalas generan fenómenos emergentes (cambios de régimen, trampas); validado en casos como el colapso del bacalao báltico y la trampa de pobreza en los Pamir, se posiciona más allá de marcos existentes como el de sistemas socioecológicos de Ostrom. |
| 52 | 2019 | Verburg, Alexander, Evans et al.         | Modelización del uso del suelo / Land System Science                      | Los modelos de uso del suelo, centrales en Land System Science, han avanzado poco por evaluación insuficiente y representación limitada de procesos socioecológicos; propone mejorar la representación de dinámicas multiescales, agencia humana y relaciones oferta-demanda, orientando los modelos no solo a proyectar cambios sino a que la sociedad delibere y diseñe soluciones de sostenibilidad.  |

|    |      |                                                          |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 53 | 2020 | Coral, Bokelmann, Bonatti, Carcamo & Sieber              | Ciencia del cambio del uso del suelo                             | Mediante teoría fundamentada aplicada a narrativas de historia de vida, reconstruye cómo condiciones estructurales impulsan cambios en conceptos, prácticas e instituciones de uso del suelo –incluyendo una dimensión cultural-cognitiva– hasta producir cambios generacionales en Mindo, Ecuador.                                                                                                        |
| 54 | 2020 | Ferguson & Weaselboy                                     | Antropología lingüística (artículo de revisión)                  | Desde ontologías indígenas, argumenta la indivisibilidad conceptual entre lengua y tierra, y entre tierra y humanos; muestra que los proyectos de revitalización lingüística y de reclamación de tierra suelen estar vinculados, con evidencia de correlación entre mantenimiento de lengua indígena, vínculo con la tierra, y salud/bienestar comunitario.                                                |
| 55 | 2020 | Gomes, Bianchi, Cardoso, Schulte, Arts & Fernandes Filho | Ciencia de sistemas terrestres / Modelización interdisciplinaria | Proyecta escenarios espacialmente explícitos de uso/cobertura del suelo (2045) para la Zona da Mata, Brasil, combinando relaciones históricas (1986–2015: pastizal 76%→58%, bosque 18%→24%, café 3%→11%) con las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) globales; muestra que reforestación e intensificación agrícola pueden coexistir, pero el futuro depende del camino socioeconómico seguido. |
| 56 | 2020 | Malek & Verburg                                          | Modelización de uso del suelo / Geografía                        | A partir de estudios de caso locales, mapea globalmente los patrones de decisión sobre uso del suelo; muestra que la toma de decisiones se explica por condiciones socioeconómicas, climáticas y de suelo (p. ej., objetivos de subsistencia asociados a desnutrición infantil y menor producción económica), e identifica qué contextos están subrepresentados en la evidencia existente.                 |

|    |      |                                        |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 57 | 2020 | Munroe & Müller                        | Ciencia de sistemas de uso del suelo (editorial)          | Vincula el uso del suelo con el cumplimiento de los ODS a través de los límites planetarios (nutrientes, agua, biodiversidad); identifica metas prioritarias para la comunidad (pobreza, energía, ciudades, clima, vida en la tierra) y llama explícitamente a un mayor compromiso normativo/de política de la ciencia de sistemas de tierra, reconociendo la tensión con la tradición de objetividad científica. |
| 58 | 2020 | Muro, Zurita-Arthos, Jara et al.       | Teledetección / Observación de la Tierra                  | Combina series de Landsat, SkySat y Planet-Scope con mapeo participativo para ubicar y dimensionar asentamientos indígenas amazónicos y proyectar su crecimiento a 2030; validado con encuestas en 49 comunidades ecuatorianas ( $R^2=0.8$ ), permite estimar necesidades de servicios básicos (ODS 7) según las prioridades de los pueblos indígenas.                                                            |
| 59 | 2020 | OECD                                   | Política ambiental (informe institucional)                | Analiza estrategias nacionales, coordinación institucional e instrumentos de política en seis países (Brasil, Francia, Indonesia, Irlanda, México, Nueva Zelanda) para identificar buenas prácticas que alineen la toma de decisiones sobre uso del suelo con objetivos de clima, biodiversidad y alimentación.                                                                                                   |
| 60 | 2020 | Schwarz, Dressler, Frank, Jager et al. | Modelización basada en agentes / Sistemas socioecológicos | A partir de su propia experiencia, sistematiza los desafíos de seleccionar, formalizar/codificar y documentar teorías psicológicas y económicas de decisión humana en modelos basados en agentes (ABM) de recursos naturales; ofrece guía para investigadores nuevos en el campo y busca facilitar la colaboración interdisciplinaria.                                                                            |

|    |      |                                                      |                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 61 | 2020 | Tellman, Magliocca, Turner & Verburg                 | Land Change Science / Teledetección (perspectiva) | Pese a los avances de la teledetección para explicar el cambio de uso del suelo, las actividades ilícitas suelen estar ausentes del análisis por falta de datos sobre transacciones ocultas; propone un marco conceptual y un enfoque de dos vías con datos de teledetección para vincular espacialmente actividades ilícitas con usos del suelo.                                                                                              |
| 62 | 2020 | Torres & Verschoor                                   | Antropología / Gobernanza ambiental               | A partir de trabajo de campo con el pueblo Andoke, muestra cómo cosmovisiones inconmensurables –la indígena (relaciones recíprocas con seres humanos y no humanos) y la estatal (separación naturaleza-cultura) generan una “tormenta perfecta” que habilita la minería aurífera ilegal, erosionando lo que los autores llaman “salud territorial”; propone una “gobernanza pluriversal” que haga justicia ontológica a los pueblos indígenas. |
| 63 | 2020 | Turner, Meyfroidt, Kuemmerle, Müller & Roy Chowdhury | Land System Science / Teoría                      | Ante la ausencia de una teoría general de uso del suelo anclada en el subsistema social con vínculos explícitos al subsistema biofísico, propone un marco de ocho elementos (agrupaciones de variables explicativas) para comparar sistemáticamente explicaciones existentes, aplicable tanto a enfoques top-down como bottom-up.                                                                                                              |

|    |      |                                              |                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 64 | 2020 | Willemen, Barger, ten Brink et al.           | Ecología / Política ambiental (comentario, IPBES) | A partir de la evaluación IPBES de degradación y restauración de tierras, documenta que la degradación global es severa y no se desacelera: ha alterado procesos ecológicos en tres cuartas partes de la superficie terrestre, afecta las condiciones de vida de dos quintas partes de la población mundial, y perjudica desproporcionadamente a comunidades indígenas y marginadas; plantea la necesidad urgente de revertir esta tendencia. |
| 65 | 2021 | Coral, Bokelmann, Bonatti, Carcamo & Sieber  | Política institucional / Teoría fundamentada      | Argumenta que las instituciones son marcos cultural-cognitivos, no solo sistemas regulatorios; mediante el caso ecuatoriano (reforma agraria de 1960-70, protección colectiva de 19.200 ha de bosque en Mindo), muestra que el cambio institucional relacionado con la tierra opera en múltiples niveles (individual, colectivo, estatal, global) y que las reformas embebidas en procesos globales no siempre reflejan necesidades locales.  |
| 66 | 2021 | le Polain de Waroux, Garrett, Chapman et al. | Land System Science                               | Señala que el papel causal de la cultura en los sistemas de tierra ha sido poco estudiado frente a otras dimensiones estructurales (mercados, políticas, clima); mediante cuatro ejemplos, propone un marco conceptual para integrar la cultura a los modelos causales existentes de Land System Science y resume innovaciones metodológicas para estudiarla.                                                                                 |

|    |      |                                              |                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 67 | 2021 | Nedd, Light, Owens, James, Johnson & Anandhi | Ciencias geoespaciales /<br>Revisión sistemática            | Revisión de ~400 artículos sobre uso/cober-<br>tura del suelo (LULC) que sintetiza definicio-<br>nes, sistemas de clasificación, meta-estudios<br>y desafíos; identifica la consistencia y calidad<br>de datos como principal desafío, y vacíos de<br>conocimiento en servicios ecosistémicos, sil-<br>vicultura y modelización de datos/imágenes.                                                                                                                                                                   |
| 68 | 2021 | Turner, Lambin & Verburg                     | Ciencia de sistemas de<br>tierra (retrospectiva)            | Traza la trayectoria desde el programa LUCC<br>(1994) hacia la consolidación de Land Sys-<br>tem Science vía el Global Land Programme,<br>revisando avances en causas, teledetección,<br>modelización, integración y sostenibilidad;<br>identifica como desafío central la falta de una<br>teoría general del uso del suelo, pese a la<br>abundancia de teorías específicas, y la nece-<br>sidad de sintetizar evidencia para abordar las<br>“soluciones” basadas en tierra que compiten<br>por los mismos recursos. |
| 69 | 2022 | Bürgi, Celio, Diogo,<br>Hersperger et al.    | Land Change Science /<br>Ecología del paisaje               | A 25 años de que el estudio de factores im-<br>pulsores del cambio de paisaje se volviera<br>tema central en Land Change Science, iden-<br>tifica rutas de investigación críticas y su po-<br>tencial para la investigación transformadora<br>de sistemas, proponiendo avances concep-<br>tuales y metodológicos hacia una perspecti-<br>va de sistemas socioecológicos.                                                                                                                                             |
| 70 | 2022 | Redvers, Celidwen, Schultz<br>et al.         | Salud planetaria / Conoci-<br>miento indígena (perspectiva) | Académicos, defensores de tierra/agua,<br>ancianos y guardianes de conocimiento in-<br>dígenas definen, mediante métodos de re-<br>colección de conocimiento propios, los deter-<br>minantes de la salud planetaria: tres niveles<br>interconectados (Madre Tierra, interconecta-<br>nte, Pueblos Indígenas) y diez determinantes<br>individuales, integrales para la salud y soste-<br>nibilidad del planeta.                                                                                                       |

|    |      |         |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|------|---------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 71 | 2022 | Walters | Ecología humana / Metodología causal | Propone el “Eventismo Causal Abductivo” (ACE) como alternativa a la teorización sobre relaciones humano-ambiente; aplicado a la reforestación en Santa Lucía, muestra que las “transiciones forestales” resultan de vías causales diversas y eventos contingentes, no de patrones teorizables generales, y aconseja cautela ante la teorización apresurada y la prescripción de política. |
|----|------|---------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Nota metodológica:** Esta tabla presenta, en orden cronológico, las 71 referencias del manuscrito relacionadas directamente con el campo de uso/cambio del suelo, de un total de 82 referencias citadas. Se excluyeron 11 referencias de carácter puramente metodológico o teórico general sin conexión temática directa con suelo/tierra (Baas & Emmeche 1997; Clarke 2005; Coleman 1986; Corbin & Strauss 2015; Dacin et al. 2002; Hedström & Swedberg 1998; Hofman et al. 2021; Lazer et al. 2021; Pereira et al. 2003; Rasmussen 2005; Roland 2008). Las referencias marcadas con asterisco (\*) constituyen casos límite: no mencionan explícitamente „tierra” o „suelo” en su título, pero se emplean en el manuscrito en conexión con sistemas socioecológicos, gobernanza de recursos, ecología política, u otros marcos teóricos (cognición ambiental, tecnología de observación terrestre) estrechamente vinculados a la literatura de uso del suelo y con relevancia directa para los argumentos del manuscrito.

**Referencias excluidas por no estar directamente relacionadas con el campo de uso de suelo o términos equivalentes (11):** Baas & Emmeche (1997); Clarke (2005); Coleman (1986); Corbin & Strauss (2015); Dacin, Goodstein & Scott (2002); Hedström & Swedberg (1998); Hofman et al. (2021); Lazer et al. (2021); Pereira et al. (2003); Rasmussen (2005); Roland (2008).



# Uso y beneficios de los simuladores quirúrgicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia

Adrián Emmanuel Iglesias Reyes<sup>1,2\*</sup>, Yolanda Margarita Sánchez Castilleja<sup>2</sup>, Sheila Irais Peña Corona<sup>3</sup>, Carlos Pedroza Cruz<sup>4</sup>, Hernán Cortes Callejas<sup>5</sup>, Marcela Vergara Onofre<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Doctorado en Ciencias Farmacéuticas, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México.

<sup>2\*</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México.

<sup>3</sup> Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México.

<sup>4</sup> Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México.

<sup>5</sup> Laboratorio de Medicina Genómica, Departamento de Genómica, Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra, Ciudad de México, México.

\* Autor de correspondencia. Correo electrónico: aiglesias@correo.xoc.uam.mx.

**Resumen.** El uso de simuladores quirúrgicos es una estrategia pedagógica esencial para la formación de médicos veterinarios y zootecnistas. Su uso proporciona un entorno seguro, ético y controlado para el desarrollo de habilidades clínicas. En este artículo se revisan la evolución, los tipos y los beneficios de los simuladores quirúrgicos, destacando su papel en la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje. Los simuladores han evolucionado desde modelos rudimentarios hasta sistemas de alta fidelidad que incorporan tecnologías avanzadas, como realidad virtual, realidad aumentada y dispositivos hápticos. Su implementación permite la repetición de procedimientos, la retroalimentación inmediata y la estandarización de la enseñanza, reduciendo así la variabilidad en la formación y favoreciendo la adquisición de competencias tanto técnicas (sutura, laparoscopia, anestesia) como no técnicas (toma de decisiones, trabajo en equipo, liderazgo). En medicina veterinaria, su uso ayuda a reducir el número de animales vivos en la práctica quirúrgica, en consonancia con los principios éticos de las 3R (reemplazo, reducción y refinamiento). En México, varias universidades han integrado estas tecnologías para la enseñanza clínica y quirúrgica en diversas especies animales. Los resultados indican un impacto positivo en la motivación estudiantil, la seguridad del paciente y la calidad del aprendizaje. Finalmente, los simuladores quirúrgicos están a punto de integrar inteligencia artificial y plataformas virtuales, lo que permitirá una evaluación más precisa y personalizada de las habilidades adquiridas. Por lo tanto, los simuladores son herramientas indispensables en la educación veterinaria contemporánea.

**Palabras clave:** simuladores; Aprendizaje; Cirugía; Medicina veterinaria; Zootecnia.

**Abstract.** The use of surgical simulators represents a crucial pedagogical strategy for training veterinarians and animal scientists. Their use provides a safe, ethical, and controlled environment for developing clinical skills. This article reviews the evolution, types, and benefits of surgical

*simulators, highlighting their role in enhancing teaching and learning. Simulators have evolved from rudimentary models to high-fidelity systems that incorporate advanced technologies such as virtual and augmented reality and haptic devices. Their implementation enables procedural repetition, provides immediate feedback, and standardizes teaching, thereby reducing variability in training and promoting the acquisition of both technical skills (suturing, laparoscopy, anesthesia) and non-technical skills (decision-making, teamwork, leadership). In veterinary medicine, their use helps reduce the use of live animals in surgical practice, aligning with the ethical principles of the 3Rs (replacement, reduction, and refinement). In Mexico, several universities have integrated these technologies for clinical and surgical teaching in various animal species. The results indicate a positive impact on student motivation, patient safety, and learning quality. The future of surgical simulation is poised to integrate artificial intelligence and virtual platforms, enabling a more precise and personalized evaluation of acquired skills. Thus, simulators are indispensable tools in contemporary veterinary education.*

**Keywords:** *Simulators; Learning; Surgery; Veterinary medicine; Animal husbandry.*

## INTRODUCCIÓN

La incorporación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ha sido clave para facilitar la enseñanza, la educación, la práctica y el aprendizaje, y puede generar conocimiento con mayor facilidad y rapidez en todos los niveles educativos. Estas TIC se han posicionado rápidamente como una herramienta fundamental para el aprendizaje y la actualización en diferentes áreas y/o especialidades médicas, incluyendo la cirugía, la cual

se encuentra en permanente actualización y evolución. Esta evolución tecnológica ha llevado a un creciente interés en el uso de la robótica para abordar de manera más precisa los procedimientos quirúrgicos y sus métodos de enseñanza (Issenberg et al., 2005; McGaghie et al., 2010). En años anteriores, el aprendizaje se basaba principalmente en la observación directa de los pacientes y la repetición en su entorno clínico. Más recientemente, se ha incorporado el uso de simuladores como herramienta fundamental en la formación quirúrgica para reducir los errores médicos y mejorar el aprendizaje de los estudiantes (Hashimoto et al., 2018; Castro et al., 2020). En la medicina, la simulación se define como “Una técnica para reemplazar o amplificar experiencias reales con experiencias guiadas, a menudo de naturaleza inmersiva, que evocan o replican aspectos sustanciales del mundo real de una manera totalmente interactiva” (Okuda et al., 2009). Por lo tanto, esta metodología permite un aprendizaje activo, estandarizado y estructurado, con elementos clave basados en competencias e imitando de manera fidedigna realidades y lecciones aplicables en la clínica diaria (Berner y Ewertz, 2018).

Una parte fundamental en la formación quirúrgica es la adquisición de habilidades en el quirófano, donde el médico debe invertir un tiempo considerable en la práctica para obtener la experiencia suficiente y realizar intervenciones seguras y eficaces. Sin embargo, este periodo de “entrenamiento” puede extenderse por meses o incluso años de prácticas en estancias, internos y residencias médicas, comprometiendo a veces su salud mental o incluso la vida de los propios pacientes en el proceso (Okuda et al., 2009; Ewertz, 2018). En este contexto, los modelos de Simulación Quirúrgica han alcanzado una relevancia notable en las últimas décadas, siendo incluso reconocidos por instituciones médicas de gran prestigio como el American College of Surgeons.

Estas herramientas permiten replicar distintos escenarios clínicos y situaciones de riesgo, permitiendo el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades técnicas sin la presión de comprometer la vida de un paciente. Además, dichos modelos contribuyen a reducir de manera significativa los tiempos entre distintas etapas de capacitación (Issenberg et al., 2005; Agha & Fowler, 2015). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es dar a conocer los usos y beneficios de los simuladores quirúrgicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia.

## METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda en las bases de datos *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect* y *Google Scholar*, abarcando publicaciones entre 1989 y 2025, tanto en inglés como en español. Se emplearon combinaciones de palabras clave mediante operadores booleanos “AND”, “OR”, combinados con palabras clave: “surgical simulators”, “surgical simulation”, “veterinary medicine”, “veterinary education”, “clinical skills”, “simulation”, “virtual reality”, “augmented reality”, “surgical simulators in Mexico”, “use of veterinary simulators” y “haptic devices”. Los criterios de inclusión contemplaron artículos originales y revisiones de la literatura que abordan el uso, la clasificación, el desarrollo, los beneficios y las perspectivas futuras de los simuladores quirúrgicos en la enseñanza de la medicina veterinaria aplicados a los animales. Se excluyeron estudios enfocados exclusivamente en medicina humana, literatura duplicada, resúmenes de congresos sin artículo completo y patentes. La selección de los estudios se efectuó en dos etapas: primero, se revisaron títulos y resúmenes; posteriormente, se evaluaron los textos completos para determinar su inclusión final.

Finalmente, los artículos seleccionados fueron organizados según los siguientes ejes temáticos: evolución de los simuladores quirúrgicos, tecnologías aplicadas (realidad virtual, realidad aumentada y dispositivos hápticos), impacto en el desarrollo de habilidades clínicas, beneficios éticos y pedagógicos relacionados con las 3R (reemplazo, reducción y refinamiento) y tendencias futuras en la simulación quirúrgica veterinaria.

## Evolución histórica y necesidad de la simulación en la formación quirúrgica

El uso de los simuladores clínicos se remonta a aproximadamente hace 2500 años, cuando se utilizaron para realizar procedimientos quirúrgicos sin comprometer la vida del paciente. Un ejemplo de ello es el modelo de simulación con hojas y arcilla para recrear la reconstrucción de una nariz a partir de un colgajo frontal que se desarrolló en la India en los años 600 a.C. Otro ejemplo lo constituyen los procedimientos realizados por Ambroise Paré, considerado el padre de la cirugía en el siglo XVI, quien embalsamaba cadáveres en casa para practicar sus nuevas técnicas quirúrgicas.

A partir de la década de 1960, la atención hacia la simulación clínica aumentó con el desarrollo de los modelos *Resus Anne* y *SimOne*, diseñados para el entrenamiento en resucitación de residentes de anestesiología (Berner y Ewertz, 2018). Posteriormente, en los años 80, se produjo el siguiente gran salto con el desarrollo de los Simuladores de Pacientes Computarizados (Maniqués), siendo los modelos de Entorno de Simulación de Anestesia Integral (CASE- Comprehensive Anesthesia Simula-

tion Environment, por sus siglas en inglés) los primeros en entrar al mercado. Estos modelos permitían el desarrollo de habilidades en anestesia y cuidados intensivos, ya que contaban con un software que proyectaba signos vitales artificiales que respondían en tiempo real ante intervenciones, emergencias y otros factores (Badash et al., 2016). En los años 90, se inició el desarrollo de simuladores basados en realidad virtual que ofrecían a los cirujanos en entrenamiento la capacidad de recrear cirugías e interactuar con herramientas e imágenes en un ambiente virtual. Estos sistemas eran capaces de recrear cirugías como la reparación del tendón de Aquiles, colecistectomía, desbride de heridas y suturas, en un entorno bastante seguro, ético y repetible. Sin embargo, debido a los altos costos de esta tecnología, el aprendizaje seguía basado en el enfoque de William Halsted, que se puede resumir como “see one, do one, teach one” (ver uno, hacer uno, enseñar uno), donde la experiencia provenía directamente de la que el residente adquiría del cirujano experto en procedimientos quirúrgicos reales. Este enfoque dependía de la disponibilidad de casos clínicos, la exposición a patologías específicas y las habilidades del mentor, lo que generaba una calidad de aprendizaje altamente variable entre instituciones y el estudiantado, poniendo en riesgo la calidad del cuidado brindado a los pacientes (Ziv et al., 2003; Bell et al., 2009; Ruíz et al., 2018; Shahrezaei et al., 2024).

A lo largo de las últimas décadas, factores como la seguridad del paciente, las restricciones legales sobre la práctica médica-quirúrgica en pacientes reales, la ética médica, la reducción de las horas laborales impuestas por normativas como la *European Working Time Directive* o el *Accreditation Council for Graduate Medical Education* (en Estados Unidos) y algunos eventos mundiales, han limitado el tiempo disponible para la formación clínica y han “puesto en jaque” la validez del modelo tradicional en enseñanza quirúrgica, replanteando el paradigma for-

mativo tradicional (Dunkin et al., 2015; Barradas et al., 2023). La llegada del Coronavirus (SARS-Cov2) en 2019 acentuó esta problemática, ya que restringió el acceso a los laboratorios y las prácticas presenciales. Por lo cual hubo la necesidad de cambiar las formas de transmitir conocimientos, impulsando la búsqueda de métodos alternativos de aprendizaje que pudieran garantizar la adquisición de habilidades clínicas-quirúrgicas sin poner en riesgo la vida o bienestar del paciente (Kneebone, 2003; Antiel et al., 2013; Ruíz et al., 2018; Garduño et al., 2020; Barradas et al., 2023).

En este contexto, la simulación ha surgido como una solución educativa eficaz y moderna a estas necesidades, ofreciendo una metodología que permite al estudiantado entrenar de forma estandarizada y reproducible en un entorno que se asemeje a la realidad o presente características del mundo físico. Por lo tanto, esta metodología proporciona un panorama de las necesidades del ambiente laboral y puede despertar en los estudiantes una cadena de emociones, pensamientos y acciones que los acerquen detalladamente a una experiencia real, reforzando sus competencias sin comprometer la integridad del paciente. Todo esto ha sido demostrado de forma exitosa en la actualidad, donde no solo se han preparado equipos médicos para atender pacientes con infecciones de alto riesgo como el Ébola, sino también, se han optimizado los resultados clínicos en los pacientes. Todo lo anterior marca el inicio de una nueva era en la formación clínica-quirúrgica, donde la tecnología y seguridad nos brindan una herramienta pedagógica, cuyos principios de educación se basan en competencias promovidas por diversas educaciones internacionales y que se integra para mejorar las capacidades del estudiantado y futuros cirujanos (Frank et al., 2010; Ruíz et al., 2018; Berner y Ewertz, 2018; Fernández et al., 2020; Garduño et al., 2020; Barradas et al., 2023).

## Fundamentos teóricos del aprendizaje basado en simulación

La principal preocupación del docente es formar profesionales capaces de enfrentar cada uno de los escenarios del mundo laboral, por lo que la enseñanza tradicional que se enfoca en transmitir conocimientos teóricos, por sí sola no es suficiente en la formación quirúrgica. Al ser el quirófano un lugar exclusivo para el aprendizaje, donde no es visible desde el exterior, particularmente durante la cirugía abierta, las TIC son una herramienta fundamental que brinda opciones pedagógicas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, donde el simulador permite experiencias innovadoras para el docente y el aprendiz (Berte y Perrenot, 2020; Castro et al., 2020).

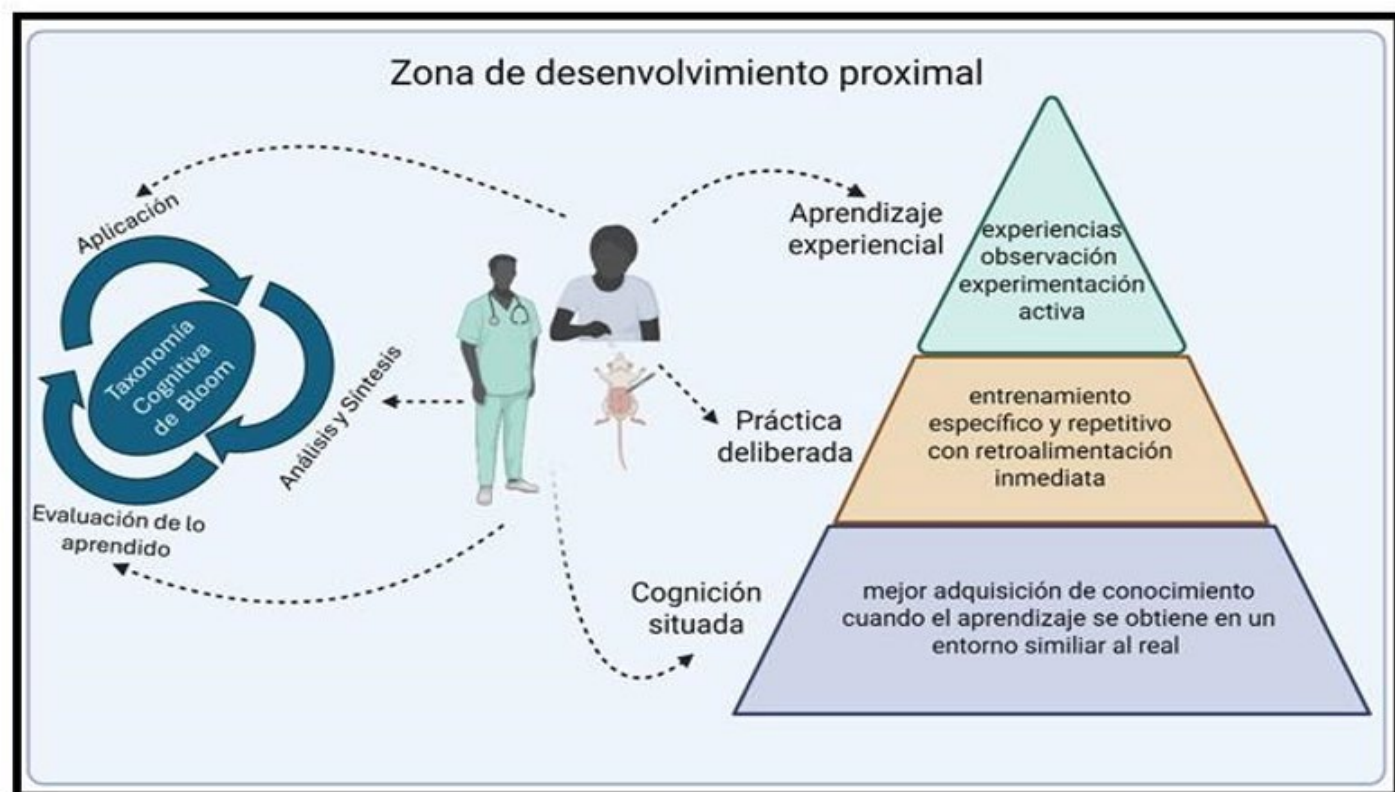
Las bases fundamentales de la formación quirúrgica parten del “aprendizaje de tipo experiencial”, en el que, según Kolb (1984), el conocimiento se construye a través del conjunto de experiencias, la observación, la conceptualización abstracta y la experimentación activa. Más aún, para el desarrollo de habilidades expertas, se requiere un entrenamiento específico, repetitivo y con retroalimentación inmediata, lo que Ericsson et al. (1993) denominaron “práctica deliberada”. Estos dos tipos de métodos se adaptan perfectamente al entorno simulado, ya que nos ofrecen el espacio ideal para este tipo de aprendizaje, permitiendo que el estudiantado o los aprendices vivan experiencias prácticas en escenarios controlados y seguros, donde puedan repetir la misma actividad tantas veces como sea necesario. En tanto el aprendiz interactúa con el simulador sin comprometer la seguridad del paciente, el tutor puede reflexionar sobre las acciones realizadas y corregirlas en ese momento, lo que permitirá al estudiantado desarrollar habilidades,

perfeccionar su desempeño y adquirir mayor experiencia (Berner y Ewertz, 2018; Shahrezaei et al., 2024).

Otro aspecto interesante de la simulación es que permite integrar el concepto de “cognición situada”. De acuerdo con Brown et al. (1989) y Berner y Ewertz (2018), el conocimiento se adquiere de forma más efectiva cuando el aprendizaje ocurre en un entorno similar al de la aplicación real. De esta manera, el estudiantado se adapta a la situación y reflexiona acerca de su progreso y errores para lograr el resultado esperado, que si bien, puede ser limitado conceptualmente, puede ser rico en detalles prácticos y sin las consecuencias que normalmente tendría en su entorno clínico real.

Este proceso permite que el estudiantado avance desde los niveles más básicos de comprensión hacia los niveles superiores; en otras palabras, según la taxonomía cognitiva de Bloom, el aprendiz aplica, analiza y evalúa lo aprendido. Asimismo, el estudiantado es guiado por el docente a lo largo del proceso cognitivo, a través de lo que Leo Semionovich Vygotsky denominó “Zona de Desarrollo Proximal”, lo que permite que el profesorado pueda clarificar conceptos y reproducir situaciones clínicas críticas. Dicha guía incluye desde el manejo de emociones y toma de decisiones, hasta dilemas morales y éticos relacionados con el paciente, familia o miembros del equipo multidisciplinario (Berner y Ewertz, 2018; Garduño et al., 2020) (Figura 1).

**Figura 1. Principales bases teóricas del aprendizaje basado en simulación**



El docente hace un análisis, síntesis de información y evaluación de lo aprendido, en tanto, el estudiantado va perfeccionando el conocimiento a través de la observación, experiencias, retroalimentación y repetitividad, todo en un entorno similar al real.

Es importante mencionar que todos los procedimientos quirúrgicos son susceptibles de simulación. Independientemente de si el simulador es de “alta, media o baja fidelidad”, su uso no solo brinda al estudiantado habilidades técnicas, sino que también confiere competencias no técnicas como el trabajo en equipo, conciencia situacional, comunicación efectiva, toma de decisiones y liderazgo. Estas capacidades son fundamentales en la atención médica diaria, asemejando situaciones que posiblemente

el estudiantado enfrentará en el mundo laboral (Berte y Perrenot, 2020; Castro et al., 2020; Garduño et al., 2020).

## Tipos de simuladores quirúrgicos

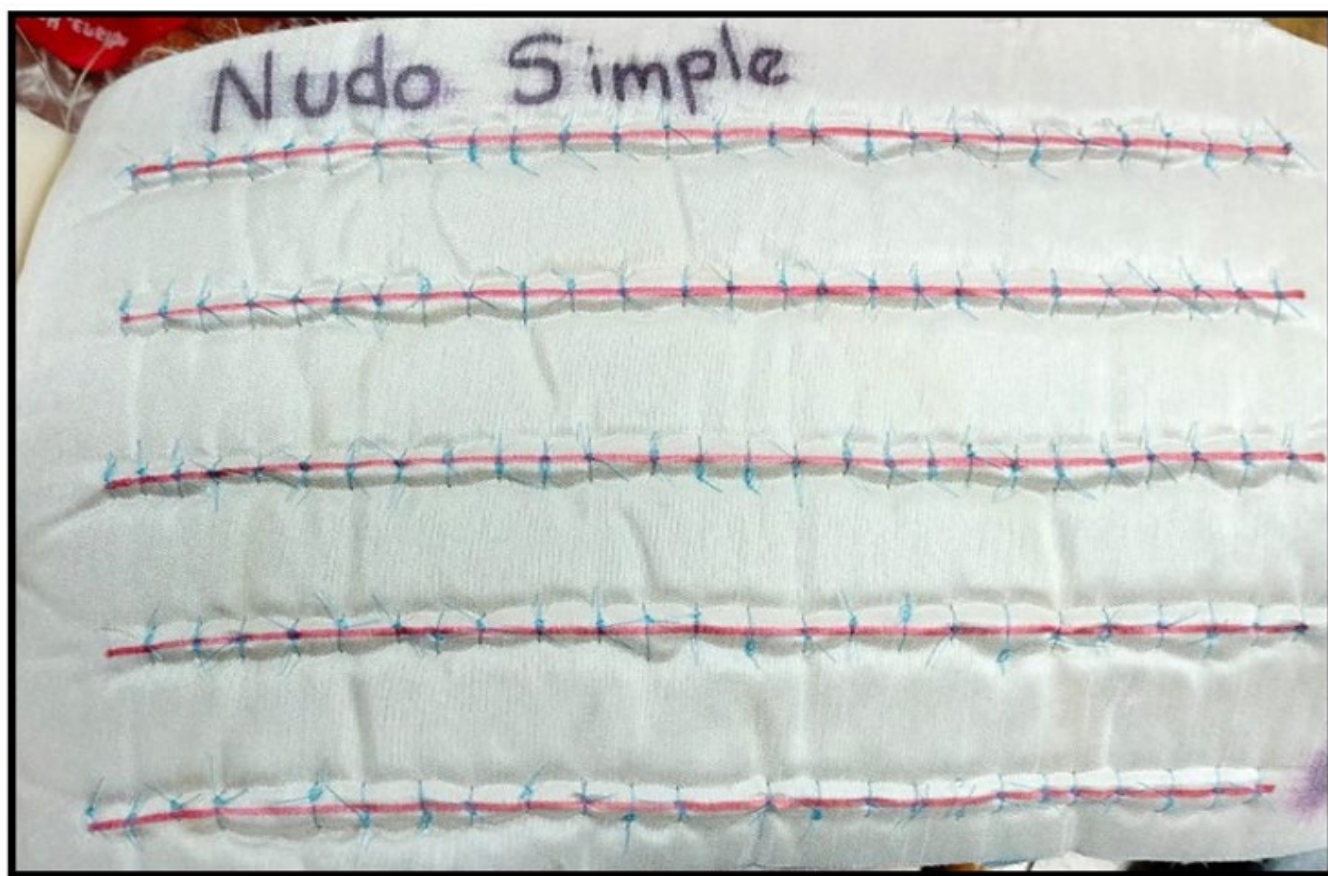
Los simuladores quirúrgicos se clasifican según su nivel de fidelidad y la tecnología utilizada, y dentro de

estos se pueden distinguir los simuladores de procedimientos sintéticos o electrónicos y los simuladores virtuales (realidad virtual, aumentada, simulación animal y simulación cadavérica) (Berte y Perrenot, 2020). A continuación, se describirá cada uno de estos:

- **Simuladores de baja fidelidad.** En la opinión de Badash et al. (2016) y Shahrezaei et al. (2024) estos

son valiosos en las etapas iniciales de formación, ya que se centran en tareas específicas como el entrenamiento de patrones quirúrgicos, manejo de instrumentación básica y la coordinación ojo-mano, permitiendo desarrollar y dominar habilidades fundamentales antes de iniciar su transición a modelos de mayor fidelidad (Figura 2) (Cuadro 1).

**Figura 2. Simulador casero de baja fidelidad realizado por el estudiantado**



- **Simuladores de media fidelidad.** Se utilizan para procedimientos más complejos y ofrecen retroalimentación más detallada sobre el avance del aprendizaje. Dentro de estos se incluyen partes anatómicas reales, maniqués complejos y dis-

positivos de retroalimentación háptica que brindan respuestas a diferentes acciones quirúrgicas o prácticas como la intubación, la sutura y el manejo de traumatismos (Shahrezaei et al. 2024) (Figura 3) (Cuadro 1).

**Figura 3. Modelo felino para simular procedimientos quirúrgicos**



Fuente: Cortesía PRANATEC

- **Simuladores de alta fidelidad o electrónicos.** Estos usan tecnologías avanzadas como la realidad virtual y la realidad aumentada. Mediante un software especializado, se integran imágenes y sensaciones realistas, lo que permite recrear un entorno tridimensional inmersivo (3D) de prácticas quirúrgicas complejas y muy específicas (entre las que se incluyen la laparoscopia y la neurocirugía), mejorando la destreza quirúrgica de los aprendices.

En opinión de Berte y Perrenot, (2020) y Shahrezaei et al. (2024), estos simuladores permiten que el docente pueda evaluar el progreso del estudiantado y su capacidad para desarrollar estrategias quirúrgicas y toma de decisiones transoperatorias, a la vez que el estudiantado adquiere habilidades que persisten en el tiempo y aumentan la seguridad antes de operar a pacientes reales (Figura 4) (Cuadro 1).

**Figura 4. Simulador quirúrgico de alta fidelidad usado en la Facultad de Medicina (UNAM) (extraído de Prensa Animal, 2025)**



Fuente: Cortesía PRANATEC)

- **Simuladores cadavéricos.** Estos modelos ofrecen aproximaciones anatómicas y táctiles reales del paciente, lo que permite la adquisición de habilidades procedimentales complejas (Berte y Perrenot, 2020) (Figura 5) (Cuadro 1). No obstante, su uso se está reduciendo cada vez más por razones éticas y/o logísticas. Okuda et al. (2009) señalan que, para algunas instituciones, la formación tradicional a través de

pacientes reales y modelos cadavéricos sigue considerándose el estándar ideal, generando resistencia a la incorporación de estas nuevas metodologías. Esta situación dificulta la implementación generalizada de programas de simulación en los planes de estudio, generando disparidades en la calidad del entrenamiento entre los mismos compañeros, instituciones o incluso del sistema educativo.

Figura 5. Simulador quirúrgico cadavérico de miembro anterior porcino



Cuadro 1. Ventajas y desventajas del uso de diferentes simuladores quirúrgicos

| Tipo de simulador | Optimización de educación y evaluación docente |       |      | Complejidad de elaboración del simulador |       |      | Costo |    |     | Etapa de uso en la formación del estudiante |       |          |
|-------------------|------------------------------------------------|-------|------|------------------------------------------|-------|------|-------|----|-----|---------------------------------------------|-------|----------|
|                   | Bajo                                           | medio | alto | Bajo                                     | medio | alto | +     | ++ | +++ | inicio                                      | Medio | avanzado |
| Baja fidelidad    | •                                              |       |      | •                                        |       |      | •     |    |     | •                                           |       |          |
| Mediana fidelidad |                                                | •     |      |                                          | •     |      |       | •  |     |                                             | •     |          |
| Alta fidelidad    |                                                |       | •    |                                          |       | •    |       |    | •   |                                             |       | •        |
| Cadavérico        | •                                              |       |      |                                          |       |      |       | •  |     | •                                           |       |          |

## Beneficios y desafíos en el uso de la simulación quirúrgica

Considerando las incontables posibilidades que ofrece la simulación quirúrgica, su implementación ha transformado profundamente los procesos de enseñanza-aprendizaje clínico. En las últimas décadas se han desarrollado nuevos y más complejos simuladores que emplean tecnología capaz de imitar la fisiología completa del paciente, replicar instalaciones y hasta áreas específicas, como el quirófano o las unidades de cuidado intensivo. Lo anterior, según Berner y Ewertz (2018) y Garduño et al. (2020) hace posible que las instituciones formen personal competente en su propio lugar de trabajo. Algunos beneficios destacados que se observan con el uso de los simuladores quirúrgicos son:

- **Prácticas deliberadas y repetitivas.** Los simuladores permiten que el estudiantado repita ilimitadamente las maniobras necesarias hasta alcanzar un dominio técnico, que no solo se logrará en menos tiempo, sino que también con una mayor retención de habilidades en comparación con quienes solo aprenden en entornos estrictamente clínicos (Stefanidis et al., 2012; Rodríguez, 2024). Esto queda de manifiesto en el estudio realizado por Fernández et al. (2020), donde se encontraron diferencias significativas entre el aprendizaje y las habilidades obtenidas por el estudiantado residente y por especialistas de cirugía, en comparación con aquellos que utilizaron simuladores para realizar anastomosis intestinales.
- **Mayor seguridad para el paciente.** Cook et al. (2011) y Ruiz et al. (2018) afirman que uno de los mayores beneficios de la simulación, es la posibilidad de entre-

ñar para cualquier tipo de procedimiento quirúrgico cometiendo los errores en un entorno controlado y sin poner en riesgo el bienestar o la salud del paciente.

- **Ambiente de aprendizaje mejorado.** Según Seymour et al. (2002), los simuladores otorgan al estudiantado un entorno de tranquilidad para aprender y mejorar sus habilidades motoras, en contraste con las presiones excesivas a las que se enfrentan durante cirugías reales.
- **Estandarización de la enseñanza-aprendizaje.** Wayne et al. (2005) y Ruiz et al. (2018) coinciden en que, al tener simuladores idénticos en el aula o espacio docente, se garantiza que todo el estudiantado tenga la oportunidad de acceder a los mismos escenarios clínicos-quirúrgicos, reduciendo la variabilidad del aprendizaje de cada participante y asegurando que todos egresen con las mismas habilidades.
- **Entrenamiento de habilidades no técnicas.** Según Yule et al. (2006), Geraghty et al. (2023) y Sánchez-Marco et al. (2023), el uso de simuladores (principalmente de alta fidelidad), como el programa de habilidades no técnicas para cirujanos NOTSS (del inglés Non-Technical Skills for Surgeons) no solo desarrolla las competencias técnicas y manuales, si no también, desarrolla competencias no técnicas cognitivas e interpersonales que son esenciales en el entorno laboral. Dentro de dichas habilidades se destacan el trabajo en equipo, comunicación efectiva, toma de decisiones de diferente índole, gestión del tiempo y el liderazgo.
- **Evaluación objetiva en tiempo real.** Conforme el estudiantado realiza los procedimientos quirúrgicos en el simulador, este recibe una evaluación me-

dian­te procedimientos computarizados. Según Van de Ridder et al. (2008) y Nestel et al. (2011), esta evaluación suele ser más objetiva, estandarizada y basada en evidencia teórico-práctica. Además, estos simuladores proporcionan retroalimentación inmediata y continua durante el proceso de formación, lo que permite al estudiantado corregir los errores cometidos y mejorar la retención del conocimiento. Por otra parte, el profesorado puede identificar de forma más eficiente las áreas de oportunidad y/o adaptar los programas a las necesidades individuales de los futuros profesionistas (McGaghie et al., 2014; Ruíz et al., 2018). Aunado a esto, Garduño et al. (2020) aseguran que los participantes pueden mantener una conversación que les permite reflexionar y reconocer sus emociones durante la práctica, aspectos importantes según el método de aprendizaje llamado debriefing.

Por otra parte, Fawaz et al. (2018) y Wang y Majewicz (2018) proponen el uso de redes neuronales convolucionales para evaluar habilidades en cirugía asistida por robots. Esto se realiza a partir de datos cinemáticos, que incluyen la obtención y el procesamiento de información sobre el movimiento de un objeto a través del espacio y el tiempo mediante software. Los investigadores aseguran que su incorporación podrá proporcionar evaluaciones objetivas en tiempo real de las destrezas quirúrgicas durante las simulaciones.

La evidencia científica respalda la efectividad de la simulación frente a métodos tradicionales. En estudios de meta análisis sobre la evaluación de la habilidad técnica en diversas áreas médicas se demuestra la efectividad de la simulación frente a otros métodos de enseñanza (Garduño et al., 2020; Noyes et al., 2022). En este con-

texto, García et al. (2024) crearon un simulador de útero canino de bajo costo (Figura 6), que permitiera ejecutar los pasos de la técnica quirúrgica de ovari­ohisterectomía (OVH). Con este abordaje, demostraron un aumento del aprendizaje y una disminución de los errores de forma más rápida ( $p < 0.001$ ). De la misma manera, en otro estudio realizado en México se encontraron diferencias significativas ( $p = .000$ ) en el dominio clínico y en la comunicación entre pares en el grupo que utilizó simuladores híbridos, respecto al uso de bastidores para el cierre de heridas superficiales (Méndez-Celis et al., 2018). Diversos estudios evidencian mayor efectividad en el desarrollo de procedimientos de exámenes clínicos (Marcos et al., 2023), aspiración con aguja fina (Pires et al., 2020), así como un aumento en la obtención de habilidades, destrezas técnicas y confianza en el uso de simuladores quirúrgicos (Davidovich et al., 2023, Medrano, 2023, Moncada et al., 2023, Sierra et al., 2024).

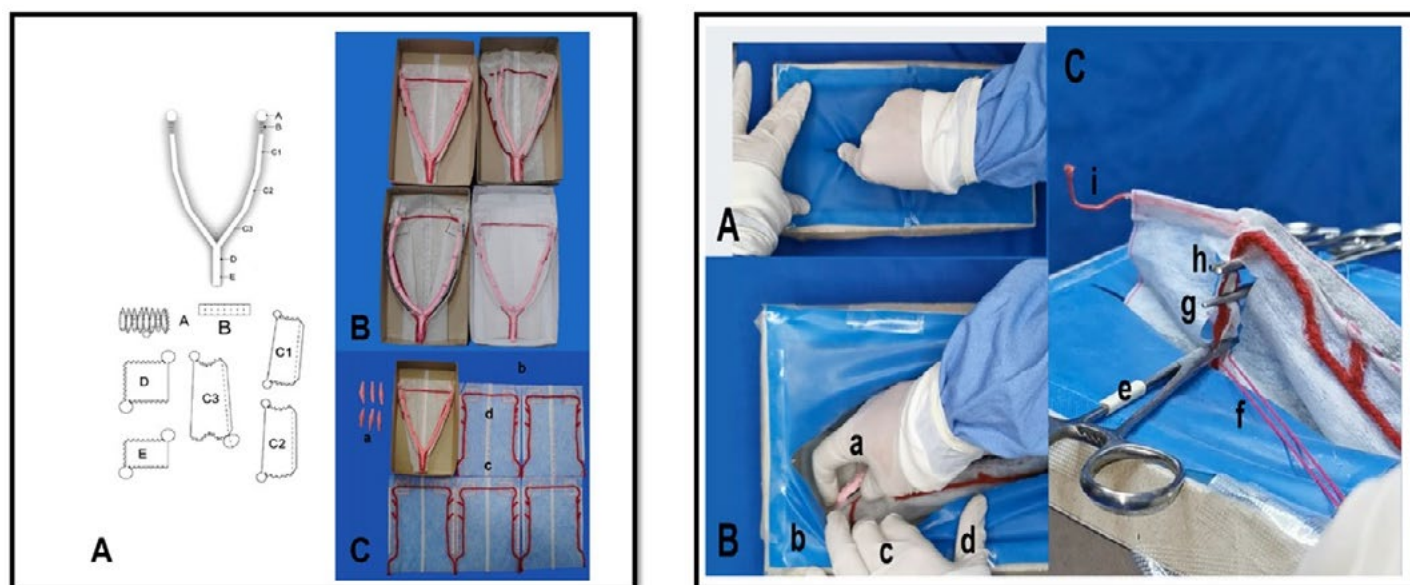
Por su parte, Aly et al. (2024) realizaron un entrenamiento en estudiantes con el objetivo de poder ejecutar OVH en pacientes reales. Los estudiantes que previamente habían utilizado simuladores quirúrgicos disminuyeron el tiempo de cirugía en 6 min ( $p = 0.04$ ), en comparación con aquellos estudiantes que no lo habían hecho, también, su confianza aumentó en los procedimientos con animales vivos ( $p < 0.01$ ). En simuladores de alta fidelidad, también se ha demostrado ese mismo efecto, por ejemplo, en el estudio realizado por Oviedo et al. (2025) entrenaron a alumnos noveles para procedimientos quirúrgicos llamados Gastropexia Laparoscópica Total (TLG) utilizando simuladores de modelos ergonómicos de una cavidad abdominal. Este grupo fue comparado con cirujanos con habilidades laparoscópicas intermedias y avanzadas, obteniendo que la suavidad de los movimientos de desplazamiento angular durante la TLG mejoró en el grupo novel ( $p < 0.01$ ), así mismo, en

el manejo de la sutura no se obtuvo una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con respecto a los grupos intermedios y avanzados.

Estos beneficios otorgados por los simuladores quirúrgicos en la docencia han motivado que instituciones como el *American College of Surgeons* (ACS) y la *Association of Program Directors in Surgery* (APDS), promuevan la incorporación de simulación en planes de estudio para lograr habilidades quirúrgicas básicas y avanzadas en el egresado (ACS & APDS, 2007). Autores como Moorthy et al. (2005) mencionan que el uso de la simulación para la certificación profesional va en aumento, generando cambios hacia modelos de formación basados en competencias, donde lo importante ya no es el tiempo de entrenamiento profesional que tiene el estudiantado, sino demostrar el dominio de la habilidad.

A pesar de que la simulación quirúrgica ha demostrado ser una herramienta valiosa con múltiples beneficios para la enseñanza médica, el uso de simuladores quirúrgicos también enfrenta una serie de desafíos y/o limitaciones en algunas instituciones de educación superior (tanto públicas como privadas), especialmente aquellas ubicadas en países en vías de desarrollo. Varios autores (Gorman et al., 2000; Schijven & Jakimowicz, 2004; Palter y Grantcharov, 2010; Munshi et al., 2015; Berner y Ewertz, 2018) coinciden en que una de estas limitaciones es el alto costo de adquisición, principalmente de aquellos dispositivos de alta fidelidad que incorporan tecnologías digitales avanzadas, a lo que habría que sumar los costos de instalación, mantenimiento, actualización tecnológica y formación del personal docente.

**Figura 6. Modelo de bajo costo realizado en la UAM que permite simular la cirugía de OVH**



## Impacto de los simuladores quirúrgicos en medicina veterinaria

En el contexto de la formación quirúrgica veterinaria, los simuladores también han cobrado relevancia como alternativa viable para fortalecer las competencias clínicas sin necesidad de intervenir directamente en animales vivos. En este campo, la adquisición de habilidades en el quirófano es una parte fundamental del desarrollo profesional del médico veterinario zootecnista, quien debe acumular un número considerable de horas prácticas para alcanzar la experiencia suficiente que le permita realizar intervenciones seguras, eficaces y éticamente responsables (OIE, 2018 y Leal, 2024).

Los simuladores quirúrgicos, tanto físicos como virtuales, han transformado la manera en que se enseñan procedimientos quirúrgicos en medicina veterinaria. Actualmente, existen modelos anatómicos de alta fidelidad, elaborados con materiales como silicona y látex, que permiten reproducir con detalle tejidos y órganos animales. Asimismo, se han incorporado plataformas digitales de realidad virtual y aumentada que ofrecen un entorno interactivo en el que el estudiantado puede desarrollar habilidades psicomotoras, coordinación mano-ojo y toma de decisiones en tiempo real (Baillie et al., 2010). Este tipo de tecnología permite repetir procedimientos múltiples veces hasta perfeccionar la técnica, algo impensable con pacientes reales debido a los riesgos involucrados.

Uno de los principales beneficios de los simuladores es la reducción del uso de animales vivos en prácticas quirúrgicas, lo que representa un avance tanto en términos éticos como educativos. Tradicionalmente, el entrenamiento quirúrgico requería la intervención en animales anestesiados o en cadáveres frescos, lo que

generaba preocupaciones importantes sobre el bienestar animal. Desde el punto de vista de Patronek & Rauch (2007), el uso de simuladores permite que el estudiantado adquiera experiencia antes de intervenir en un paciente real, reduciendo así el margen de error y minimizando el sufrimiento animal. Esta transición hacia una enseñanza más ética se alinea con los principios de las 3R (Reemplazo, Reducción y Refinamiento), ampliamente promovidos en el ámbito de la ciencia veterinaria, con el fin de sustituir o disminuir el uso de animales asegurando su bienestar (Téllez y Vanda, 2021).

Desde un enfoque pedagógico, la simulación permite una progresión del aprendizaje más segura y personalizada. Mediante sistemas de retroalimentación inmediata, el estudiantado puede evaluar su desempeño y corregir errores de manera autónoma. Estudios realizados por Greenfield et al. (2014) demostraron un mayor desarrollo de habilidades y seguridad al enfrentarse a procedimientos reales. Esta preparación previa resulta especialmente útil en situaciones quirúrgicas de emergencia o en intervenciones de poca frecuencia, donde la rapidez y la precisión son fundamentales para la vida del paciente (Kneebone, 2009).

En el valle de México 4 universidades imparten la Licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Universidad del Valle de México (UVM) y la Escuela Veterinaria de Medicina Veterinaria y Zootecnia en Pequeñas Especies (FCM), todas ellas hacen uso de simuladores para la enseñanza zootécnica, clínica y quirúrgica en pequeñas y grandes especies (Pérez, 2018; García et al., 2024; UVM, 2025). En particular, la UAM promueve el uso de estas herramientas a través de la plataforma BioAtlasVet (Figura 7), que permite de forma virtual exportar la anatomía de diferentes especies animales a través de modelos compu-

tarizados 3D. Además, organiza conferencias impartidas por expertos en el tema (donde se promueve el uso y la creación de estos simuladores; Figura 8) y concursos de creación de nuevos modelos quirúrgicos que puedan

servir para la docencia en un futuro (Figura 9). Mediante estos recursos docentes, se busca que el estudiantado obtenga una mejor comprensión de la anatomía, fisiología y procedimientos a realizar.

**Figura 7. Plataforma BioAtlasVet 3D**

**Recurso a prueba**

**BioAtlasVet**

Plataforma interactiva que permite explorar la anatomía animal de forma virtual mediante modelos 3D.

**Anatomía Torso del Bovino**

**Anatomía Completa del Anuro**

**Anatomía Digestiva del Felino**

No requiere instalación

Fácil acceso

Contenidos diversos

Disponible en español

**Beneficios para las y los profesionales de la salud animal**

- Facilita el aprendizaje:** Contenido visual y textual que enriquece la educación veterinaria.
- Actualización continua:** Información sobre anatomía topográfica de varias especies.
- Metodología activa:** Mejora la enseñanza en el aula con recursos interactivos.

¡Explora la morfología animal!  
 Disponible hasta el 15 de abril

Accede a BioAtlasVet en:  
<https://e.xoc.uam.mx/MP49A>

Fuente: Extraído de Biblioteca Ramón Villareal UAM, en Instagram <https://www.instagram.com/p/DHZwCq7Oy0I/>).

Figura 8. Difusión de pláticas para la formación del Médico Veterinario Zootecnista

The poster is for a lecture titled "SIMULADORES PARA EL ESTUDIO VETERINARIO" (Simulators for Veterinary Study) by Dr. Angel Lozada Gallegos. It features a man in a black t-shirt with a Joker graphic. The poster includes logos for UAM (Universidad Autónoma Metropolitana), the university's extension department, and a science communication project. The event is scheduled for Thursday, February 27, at 13:30 Hrs, and will be live on Facebook. The poster also mentions "CONDUCE: CECILIA EZETA GENS" and "charlas de ciencia".

UAM  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
Unidad Xochimilco

eu Coordinación de Extensión  
Universitaria y Difusión Cultural

dc Divulgación  
de la Ciencia

**SIMULADORES PARA EL  
ESTUDIO VETERINARIO**

Dr. Angel Lozada Gallegos

¿CUÁNDO?  
**Jueves**  
**27 Febrero 13:30 Hrs**

¿DÓNDE?  
**f LIVE** Divulgación de  
la ciencia UAM-X

CONDUCE:  
CECILIA EZETA GENS

charlas de ciencia

Cortesía Proyecto Divulgación de la Ciencia, UAM-X.

**Figura 9. Concurso sobre modelos de simulación dirigido al estudiantado de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAM**



**50 UAM**

**4TO CONCURSO  
MODELOS DE SIMULACIÓN  
PARA LA PRÁCTICA DE VÍAS  
DE ADMINISTRACIÓN DE  
FARMACOS**

**2DO CONCURSO  
MODELOS DE SIMULACIÓN  
PARA LA ENSEÑANZA  
CLÍNICA Y QUIRÚRGICA**

**16 DE ENERO, 2025**  
**10:00 AM - 01:00 PM**  
**VELARIA DE LA UAM-X**

**REGÍSTRATE**

De manera similar, las universidades circundantes al Valle de México, tales como la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) y la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), están introduciendo simuladores para estudiar la anatomía, fisiología, cirugía, imagenología, clínica y farmacología. Esto demuestra que las instituciones educativas de México se están sumando a esta práctica e incluso, a pesar del alto costo de adquisición, impulsan a las universidades del país a adquirirlos o buscar opciones que permitan el aprendizaje médico veterinario, manteniendo la ética y bienestar de los animales (MVT, 2015; UAEH, 2025). En otros países hispanoamericanos, tales como Ecuador y Uruguay, se han realizado estudios referentes al uso de simuladores artesanales y virtuales como herramientas complementarias en la enseñanza tradicional; los resultados muestran un alto grado de motivación del estudiantado, gran similitud respecto a casos reales y mejoría en el aprendizaje (Albano Botana et al., 2021; Pazmiño Troncoso et al., 2023).

## Perspectivas futuras de la simulación quirúrgica

Desde el punto de vista de Hashimoto et al. (2018), con el auge de la inteligencia artificial, el futuro de la docencia quirúrgica mediante simulación va en aumento. Su aplicación no solo impulsa una mayor sofisticación de la tecnología, que se adapta mejor a los escenarios y mejora el desempeño del estudiantado, sino que también hace más precisa la evaluación de las habilidades quirúrgicas adquiridas.

El desarrollo de las plataformas en línea también ha ampliado el acceso a estos simuladores, ya que permite

a aprendices y profesionistas, practicar y/o capacitarse de forma remota en entornos inmersivos 3D, obteniendo retroalimentación inmediata (Barsom et al., 2016; Ferreira et al., 2020).

Finalmente, los futuros simuladores fortalecerán el trabajo en equipo, mejorando la atención y seguridad hacia el paciente, especialmente con la integración de un mayor número de componentes inter e intra profesionales, es decir, aquellos donde participantes de la medicina veterinaria y de otras profesiones puedan interactuar para aprender y desarrollar habilidades técnicas específicas (Issenberg et al., 2005; Weaver et al., 2014).

## CONCLUSIÓN

La simulación se ha consolidado como una valiosa herramienta pedagógica en la enseñanza y el entrenamiento quirúrgicos. Además de brindar una enseñanza más ética y segura, su capacidad de replicar procedimientos en un entorno controlado mejora el nivel de preparación del estudiantado, fomenta el aprendizaje autónomo y continuo, garantizando una mejor atención docente. Por lo tanto, la integración de la simulación en el currículo veterinario no es solo una mejora técnica, sino un componente indispensable de la formación quirúrgica para los profesionales de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a SECIHTI por el apoyo brindado al primer autor como becario del Doctorado en Ciencias Farmacéuticas con número de CVU 842836.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agha, R. A., & Fowler, A. J. (2015). The role and validity of surgical simulation. *International Surgery*, 100(2), 350–357. <https://doi.org/10.9738/INTSURG-D-14-00004>
- Albano Botana, M., Lucero Larracharte, B., & Romitti Ribeiro, A. (2021). *Creación, implementación y evaluación de un simulador de casos clínicos para el aprendizaje de clínica de pequeños animales* [Tesis de grado, Universidad de la República]. Facultad de Veterinaria.
- Aly, A. M., Hayes, G. M., Boesch, J. M., Buote, N., & Korich, J. (2024). Effect of surgical simulator training on student and live animal outcomes in a feline ovariohysterectomy teaching laboratory. *Veterinary Surgery*, 53(6), 1123–1129. <https://doi.org/10.1111/vsu.14044>
- American College of Surgeons, & Association of Program Directors in Surgery. (2007). *Surgical skills curriculum for residents*. <https://www.facs.org>
- Antiel, R. M., Reed, D. A., Van Arendonk, K. J., Wightman, S. C., Hall, D. E., Porterfield, J. R., & Bannon, M. P. (2013). Effects of duty hour restrictions on core competencies, education, quality of life, and burnout among general surgery interns. *JAMA Surgery*, 148(5), 448–455. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2013.1368>
- Badash, I., Burtt, K., Solorzano, C. A., & Carey, J. N. (2016). Innovations in surgery simulation: A review of past, current and future techniques. *Annals of Translational Medicine*, 4(23), 453. <https://doi.org/10.21037/atm.2016.12.24>
- Baillie, S., Pierce, S. E., May, S. A., & Kinnison, T. (2010). Learning from low fidelity simulators: The development of clinical skills in veterinary students. *Veterinary Record*, 166(13), 388–391. <https://doi.org/10.1136/vr.b4792>
- Barradas, A. U.D., Cocón J. J. F., Pérez, C. D. & Vázquez A. M. R. (2023). El Impacto de los Simuladores en el Aprendizaje de los Sistemas Digitales. *Revista Internacional Tecnológica-educativa Docentes 2.0*, 16(1), 67-76. <https://doi.org/10.37843/rted.v16i1.350>
- Barsom, E. Z., Graafland, M., & Schijven, M. P. (2016). Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. *Surgical Endoscopy*, 30(10), 4174–4183. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4800-6>
- Bell, R. H., Biester, T. W., Tabuenca, A., Rhodes, R. S., Cofer, J. B., Britt, L. D., & Lewis, F. R. (2009). Operative experience of residents in US general surgery programs: A gap between expectation and experience. *Annals of Surgery*, 253(6), 719–724. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318217eaa3>
- Berner, J. E. & Ewertz E. (2018). Bases teóricas del uso simulación para el entrenamiento en cirugía. *Revista Chilena de Cirugía*, 70(4), 382-388. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-40262018000300382>
- Berte, N., & Perrenor, C. (2020). Surgical apprenticeship in the era of simulation. *Journal of Visceral Surgery*, (157), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.jvisurg.2020.04.003>

- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32–42. <https://www.jstor.org/stable/1176008>
- Castro, M. J. J., Perdomo, K. B., & Pino M. A. A. (2020). La simulación como aporte para la enseñanza y el aprendizaje en épocas de Covid-19. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(1), 315-324. <https://doi.org/10.15649/2346030X.2475>
- Cook, D. A., Hatala, R., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J. H., Wang, A. T., Erwin, P. J. & Hamstra, S. J. (2011). Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*, 306(9), 978–988. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.1234>
- Davidovich C., Cuenca D., & Ferreira D. (2023). Valoración del aprendizaje por medio de prácticas quirúrgicas simuladas para prevenir errores. Paraguay 2023. *Academic Disclosure*, 6(2),17-35. <https://revistascientificas.una.py/index.php/rfenob/article/view/4197/3408>
- Dunkin B. J. (2015). Challenges and opportunities in surgical education. *Surgical Clinics of North America*, 95, 801–812. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2015.04.002>
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363–406. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.3.363>
- Fawaz H. I., Forestier G., Weber J., Idoumghar L. & Muller P. A. (2018). Evaluating surgical skills from kinematic data using convolutional neural networks. *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00937-3\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00937-3_25)
- Fernández, M. J., Toledo, E., Cañón, M., Manuel, P. J. C., & Maestre, J. M. (2020). Desarrollo y validación de una herramienta para la evaluación de la anastomosis intestinal laparoscópica en simulación. *Cirugía Española*, 98(5), 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2019.10.005>
- Frank, J. R., Snell, L. S., Cate, O. T., Holmboe, E. S., Carraccio, C., Swing, S. R., Harris P., Glasgow N. J., Campbell C., Dath D., Harden R. M., Iobst W., Long D. M., Mungroo R., Richardson D. L., Sherbino J., Silver I., Taber S., Talbot M & Harris, K. A. (2010). Competency-based medical education: theory to practice. Theory to practice. *Medical Teacher*, 32, 638–645. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2010.501190>
- García, G. M., Pérez, R. C. C. J. J., Heuze, I. I. M., & Lozada, G. A. R. (2024). Assessment of a low-cost canine uterine simulator as a tool for teaching the ovariohysterectomy technique to veterinary students. *Alternatives to Laboratory Animals*, 52(6), 316–325. <https://doi.org/10.1177/02611929241285392>
- Garduño, L. A. L., Guido, G. R. E., Acosta, N. V. M., Borunda, N. D., & Domínguez, C. G. (2020). El papel de la simulación como estrategia educativa en la pandemia de COVID-19. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 43(4), 305–314. <https://dx.doi.org/10.35366/94944>
- Geraghty, A., Paterson-Brown, S., & McGregor, R. J. (2023). Non-technical skills for surgeons (NOTSS). *Surgery*, 41(8), 474–478. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2023.05.006>

- Gorman, P. J., Meier, A. H., Rawn, C., & Krummel, T. M. (2000). The future of medical education is no longer blood and guts, it is bits and bytes. *The American Journal of Surgery*, 180(5), 353–356. [https://doi.org/10.1016/S0002-9610\(00\)00501-4](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(00)00501-4)
- Greenfield, C. L., Johnson, A. L., Schaeffer, D. J., & Hungerford, L. L. (2014). Comparison of surgical skills of veterinary students trained using models or live animals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 205(7), 1031–1033. <https://doi.org/10.2460/javma.2004.205.1031>
- Hashimoto, D. A., Rosman, G., Rus D., & Ozanan R. M. (2018). Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Annals of Surgery*, 268(1), 70–76. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002693>
- Issenberg, S. B., McGaghie, W. C., Petrusa, E. R., Gordon, D. L., & Scalese, R. J. (2005). Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Medical Teacher*, 27(1), 10–28. <https://doi.org/10.1080/01421590500046924>
- Kneebone, R. (2003). Simulation in surgical training: Educational issues and practical implications. *Medical Education*, 37, 267–277. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01440.x>
- Kneebone, R. (2009). Simulation in surgical training: Educational issues and practical implications. *Medical Education*, 43(3), 267–273. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2008.03286.x>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall. <http://www.learningfromexperience.com/images/uploads/process-of-experiential-learning.pdf>!(31.05.2006)
- Leal Ruiz, R. D. (s. f.). *Pasantía en cirugía de tejidos blandos y ortopedia de pequeños animales en el Centro Veterinario y Zoológico de la Universidad CES (CVZ), Medellín, Colombia*. <https://orcid.org/0009-0005-9045-9046>
- Marcos, R., Macedo, S., de Vega, M., & Payo-Puente, P. (2023). The use of simulation models and student-owned animals for teaching clinical examination procedures in veterinary medicine. *Veterinary Sciences*, 10(3), 193. <https://doi.org/10.3390/vetsci10030193>
- McGaghie, W. C., Issenberg, S. B., Barsuk, J. H., & Wayne, D. B. (2014). A critical review of simulation-based mastery learning with translational outcomes. *Medical Education*, 48(4), 375–385. doi: 10.1111/medu.12391
- McGaghie, W. C., Issenberg, S. B., Petrusa, E. R., & Scalese, R. J. (2010). A critical review of simulation-based medical education research: 2003–2009. *Medical Education*, 44(1), 50–63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03547.x>
- Medrano, A. J. E. (2023). *Simulación quirúrgica como estrategia en el aprendizaje de habilidades técnicas en ciencias de la salud. Revisión sistemática 2018-2023*. [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/123584>
- Méndez-Celis, C., Valderrama-Treviño, A., Millán-Hernández, M., García-Parra, C., Martínez-Quesada, J., Barrera Mera, B., & Montalvo-Jave, E. E. (2018). Evaluación de competencias quirúrgicas con un simulador híbrido para el cierre de una herida superficial. *Investigación en Educación Médica*, 7(28), 27-34. <https://doi.org/10.22201/facmed.20075057e.2018.28.1743>

- Moncada, A., García, R., Rodríguez, M. V. I., Fernández, A., Varela, C. L., & Terán, J. (2023). La simulación como herramienta de enseñanza y aprendizaje quirúrgico. *Revista Venezolana de Cirugía*, 76(2), 142–147. <https://doi.org/10.48104/RVC.2023.76.2.14>
- Moorthy, K., Munz, Y., Adams, S., Pandey, V., & Darzi, A. (2005). A human factors analysis of technical and team skills among surgical trainees during procedural simulations in a simulated operating theatre. *Annals of Surgery*, 242(3), 631–639. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000089858.42032.e7>
- Munshi, F., Lababidi, H., & Alyousef, S. (2015). Low- versus high-fidelity simulations in teaching and assessing clinical skills. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 10(1), 12–15. DOI: 10.1016/j.jtumed.2015.01.008
- MVT. (2015). *Eficientan simuladores labor en la Facultad de Medicina Veterinaria*. Agencia de Noticias MVT. <https://mvt.com.mx/eficientan-simuladores-labor-en-la-facultad-de-medicina-veterinaria/>
- Nestel, D., Groom, J., Eikeland-Husebø, S., & O'Donnell, J. M. (2011). Simulation for learning and teaching procedural skills: the state of the science. *Simulation in Healthcare*, 6(7), 10–13. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e318227ce96>
- Noyes, J.A., Carbonneau, K. J., & Matthew, S. M. (2022). Comparative effectiveness of training with simulators versus traditional instructions in veterinary education: Meta-analysis and systematic review. *Journal of Veterinary Medicine Education*, 49(1):25-38. doi: 10.3138/jvme-2020-0026
- Okuda, Y., Bryson, E. O., DeMaria, S., Jacobson, L., Quinones, J., Shen, B., & Levine, A. I. (2009). The utility of simulation in medical education: What is the evidence? *Mount Sinai Journal of Medicine*, 76(4), 330–343. <https://doi.org/10.1002/msj.20127>
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2018). *Directrices de la OIE sobre las competencias de los paraprofesionales de veterinaria*. <https://doi.org/10.20506/PVS-2758>
- Oviedo-Peñata, C. A., Lemos-Duque, J. D., & Maldonado-Estrada, J. G. (2025). Training total laparoscopic gastropexy using a composed simulator and evaluating the significant transfer of surgical skills performed in growing pigs in vivo. *BMC Veterinary Research*, 21(1), 64. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04463-4>
- Palter, V. N., & Grantcharov, T. P. (2010). Simulation in surgical education. *Canadian Medical Association Journal*, 182(11), 1191–1196. <https://doi.org/10.1503/cmaj.091743>
- Patronek, G. J., & Rauch, A. (2007). Systematic review of comparative studies examining alternatives to the harmful use of animals in biomedical education. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 230(1), 37–43. <https://doi.org/10.2460/javma.230.1.37>
- Pazmiño Troncoso, D. E., Armas Ariza, J. C., & Pazmiño Troncoso, M. E. (2023). Evaluación de un simulador artesanal veterinario para entrenamiento de punción eco-guiada. *Alfa Publicaciones*, 5(1.2):25-43. <https://doi.org/10.33262/ap.v5i1.2.328>
- Pérez, E. J. I. (2018). *Con simuladores para atención a bovinos, potencia la UNAM formación de estudiantes*. Boletín UNAM-DGCS-606. [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018\\_606.html](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_606.html)

- Pires, J. L., Payo, P., & Marcos, R. (2020). A utilização de simuladores para o ensino da punção de agulha fina em medicina veterinária. *Journal of Veterinary Medical Education*, 49(1). <https://doi.org/10.3138/jvme-2020-0036.pt>
- Prensa Animal. (2025). *Con simuladores virtuales de alta fidelidad, la UNAM a la vanguardia en enseñanza de medicina*. <https://prensaanimal.com/con-simuladores-virtuales-de-alta-fidelidad-la-unam-a-la-vanguardia-en-ensenanza-de-medicina/>
- Rodríguez, M. J. A. (2024). Nuevos tiempos, nuevos sistemas para el aprendizaje de la cirugía. *Anales Ranm*, 141(01), 40-44. <https://doi.org/10.32440/ar.2024.141.01>
- Ruíz, G. J. L., Martín, P. J. I., Noriega, M. G., Redondo, F. C. G., & Manuel, P. J. C. (2018). La simulación como modelo de enseñanza en cirugía. *Cirugía Española*, 96(1), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.ci-resp.2017.09.005>
- Sánchez-Marco, M., Escribano, S., Rubio-Aparicio, M., Juliá-Sanchis, R., & Cabañero-Martínez, M. J. (2023). Effectiveness of nontechnical skills educational interventions in the context of emergencies: A systematic review and meta-analysis. *Australian Critical Care*, 36(6), 1159-1171. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2023.01.007>
- Schijven, M. P., & Jakimowicz, J. J. (2004). The learning curve on the Xitact LS500 laparoscopic simulator: Profiles of performance. *Surgical Endoscopy*, 18(1), 121-127. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-2180-0>
- Seymour, N. E., Gallagher, A. G., Roman, S. A., O'Brien, M. K., Bansal, V. K., Andersen, D. K., & Satava, R. M. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Annals of Surgery*, 236(4), 458-464. <https://doi.org/10.1097/00000658-200210000-00008>
- Shahrezaei, A., Sohani M., Taherkhani, S. & Yahya Z. S. (2024). The impact of surgical simulation and training technologies on general surgery education. *BMC Medical Education*, 24(1297), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-06299-w>
- Sierra, F. C. R., Suárez, B. M. F., Hernández M. I., Juárez H. A., Castillo R. C. & Sánchez P. J. (2024). Simulación quirúrgica en modelos biológicos porcinos en la formación de residentes de cirugía cardiorácica. *Inv. Ed. Med.*, 13(52), 30-39. <https://doi.org/10.22201/fm.20075057e.2024.52.23539>
- Stefanidis, D., Sevdalis, N., Paige, J., Zevin, B., Aggarwal, R., Grantcharov, T., & Association for Surgical Education Simulation Committee. (2012). Simulation-based surgical education research: better reporting, better science, more effective translation to patient care. *Surgical Endoscopy*, 26(10), 2711-2720. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2243-2>
- Stefanidis, D., Sevdalis, N., Paige, J., Zevin, B., Aggarwal, R., Grantcharov, T., & Jones, D. B. (2015). Simulation in surgery: What's needed next? *Annals of Surgery*, 261(5), 846-853. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000826>
- Téllez, B. E. E. & Vanda C. B. (2021). Las Tres Ces como ampliación de las Tres Erres para una praxis ética en la investigación biomédica. *Revista de Bioética y Derecho*, 51, 123-139. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1886-58872021000100008&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1886-58872021000100008&lng=es&tlng=es)

- UAEH. (2025). *UAEH incorpora simuladores y modelos anatómicos para estudiantes de veterinaria*. Boletín Informativo UAEH No. 80. <https://www.uaeh.edu.mx/noticias/9249>
- UVM. (2025). *Hospital Veterinaria UVM*. <https://uvm.mx/hospital-veterinario-uvm#:~:text=El%20aprendizaje%20pr%C3%A1ctico%20comienza%20en%20la%20Cl%C3%A9nica,y%20contribuir%20al%20bienestar%20de%20sus%20pacientes>.
- Van de Ridder, J. M. M., Stokking, K. M., McGaghie, W. C., & Ten Cate, O. T. J. (2008). What is feedback in clinical education?. *Medical Education*, 42, 189–197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2007.02973.x>
- Wang, Z. & Majewicz F. A. (2018). Deep learning with convolutional neural network for objective skill evaluation in robot-assisted surgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 13, 1959-1970. <https://doi.org/10.1007/s11548-018-1860-1>
- Wayne, D. B., Butter, J., Siddall, V. J., Monica J., Fudala, B. A., Wade, L. D., Feinglass, J., William C. & McGaghie, W. C. (2005). Mastery learning of advanced cardiac life support skills by internal medicine residents using simulation technology and deliberate practice. *Journal of General Internal Medicine*, 21(3), 251–256. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1497.2006.00341.x>
- Weaver, S. J., Dy, S. M., & Rosen, M. A. (2014). Team-training in healthcare: A narrative synthesis of the literature. *BMJ Quality & Safety*, 23, 359-372. [10.1136/bmjqs-2013-001848](https://doi.org/10.1136/bmjqs-2013-001848)
- Yule, S., Flin, R., Paterson-Brown, S., & Maran, N. (2006). Non-technical skills for surgeons in the operating room: A review of the literature. *Surgery*, 139(2), 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.06.017>
- Ziv, A., Wolpe, P. R., Small, S. D., & Glick, S. (2003). Simulation-based medical education: An ethical imperative. *Academic Medicine*, 78(8), 783– 788. <https://doi.org/10.1097/00001888-200308000-00006>

# Relación del Complejo Mayor de Histocompatibilidad clase II con la susceptibilidad o resistencia a algunas enfermedades autoinmunes y neoplásicas que afectan a los perros

Yolanda M. Sánchez Castilleja<sup>1</sup>

**Resumen.** El documento es una revisión que describe la estructura de la molécula DLA (del inglés Antígeno Leucocitario Canino) Clase II, su función en la presentación antigénica, y la asociación de sus alelos y haplotipos específicos del DLA Clase II (DLA-DRB1/DQA1/DQB1) con la susceptibilidad (riesgo) o resistencia (protección) a enfermedades autoinmunes y neoplásicas en perros. Un patrón repetitivo es la homocigosidad y la heterogeneidad entre razas en los genes DLA, aumentando la susceptibilidad a enfermedades y donde un mismo alelo puede conferir riesgo en una raza o enfermedad, y protección o neutralidad en otra. Destacan alelos comunes como DQA1\*006 o DQA1\*001.01 al asociarse al riesgo a diversas razas y enfermedades autoinmunes a la vez que se identifican como alelos de protección en otras. En general, la identificación de los alelos DLA Clase II es importante para comprender la patogénesis de las enfermedades y tiene implicaciones significativas para la medicina veterinaria en la prevención y control de enfermedades en animales.

**Palabras clave:** MHC; DLA; Enfermedades autoinmunes y neoplásicas; Perros.

**Abstract.** This document is a review describing the structure of the DLA (del inglés Dog Leukocyte Antigen) Class II molecule, its role in antigen presentation, and the association of its specific DLA Class II alleles and haplotypes (DLA-DRB1/DQA1/DQB1) with susceptibility (risk) or resistance (protection) to autoimmune and neoplastic diseases in dogs. A repetitive pattern is homozygosity and heterogeneity between breeds in DLA genes, increasing disease susceptibility and where the same allele can confer risk in one breed or disease, and protection or neutrality in another. Common alleles such as DQA1\*006 or DQA1\*001.01 stand out because they are associated with risk in various breeds and autoimmune diseases while being identified as protective alleles in others. Overall, the identification of DLA Class II

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Ciudad de México. Correo electrónico: ymsanchez@correo.xoc.uam.mx

*alleles is important for understanding disease pathogenesis and has significant implications for veterinary medicine in the prevention and control of animal diseases.*

**Keywords:** MHC; DLA; Autoimmune and neoplastic; Diseases; Dogs.

## INTRODUCCIÓN

El complejo mayor de histocompatibilidad (MHC, del inglés Major Histocompatibility Complex), antígeno leucocitario en perros (DLA del inglés Dog Leukocyte Antigen), es un grupo de genes altamente polimórficos, es decir, que poseen una gran cantidad de alelos que lo codifican, capacitándolo para unirse a una extensa variedad de péptidos antigénicos formando el complejo DLA - péptido antigénico (Tizard, 2024).

Particularmente el complejo DLAI - péptido antigénico, es expuesto en la superficie de células dendríticas, macrófagos y linfocitos B conocidas como células presentadoras de antígeno (CPA), de manera que interactúa con los receptores de linfocitos T colaboradores, generando un estímulo y dirigiendo la activación de hacia una respuesta inmune adaptativa celular y humoral contra diversas amenazas a la salud (Gutiérrez, 2010). De esta manera, un alto grado de polimorfismo en el DLA se traduce en una gran diversidad de alelos presentes en la población lo que equivale a una mayor variedad de antígenos que el sistema inmunitario puede reconocer. Esto confiere una ventaja adaptativa, ya que la población es más resistente a diferentes tipos de enfermedades. La disminución en el grado de polimorfismo del DLA, en cambio, implica una menor variedad de antígenos reconocibles, lo que puede aumentar el riesgo de enfermedades infecciosas, autoinmunes y neoplásicas

en una población (Thursz, 2000; Díaz et al., 2005; Denyer et al., 2020). Siendo así, dicho polimorfismo es esencial en la respuesta inmunológica ya que la facultad de reconocer lo propio de lo extraño (Tizard, 2024; Abbas et al., 2023).

Con respecto a lo anterior, se han desarrollado investigaciones basadas en la genotificación del DLA clase II en asociación con algunas enfermedades en perros, utilizando técnicas de biología molecular. En este sentido, la presente revisión tiene como objetivo describir la estructura de la molécula DLAI, su papel en la presentación antigénica y mostrar lo más relevante en estudios sobre la asociación entre DLAI y la susceptibilidad o resistencia a algunas enfermedades autoinmunes y neoplásicas en perros.

## METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda booleana de los años 2007 al 2025 en las bases de datos *Scopus*, *ScienceDirect*, *Web of Science* y *Google Scholar*. Se utilizaron palabras clave tales como: perros, complejo mayor de histocompatibilidad, MHC, DLA, susceptibilidad, predisposición, riesgo, enfermedad, trastorno, condición, perros, en los idiomas español e inglés. Se obtuvieron artículos originales, revisiones de la literatura y tesis. La búsqueda se refinó eliminando los recursos correspondientes a humanos y agricultura, de forma tal que se clasificaron en cinco temas principales: Estructura de la molécula DLA clase II, el papel del DLAI en la presentación antigénica, susceptibilidad o resistencia a enfermedades, enfermedades autoinmunes y neoplasias.

## Estructura de la molécula DLAII clase II

Las moléculas DLAII son codificadas por genes que se localizan en una región cercana al centrómero del cromosoma 12 (Debenham et al., 2005; Barragán Sánchez et al., 2025). Son heterodímeros, lo que significa que están formadas por dos subunidades polipeptídicas unidas por enlaces no covalentes denominadas  $\alpha$  y  $\beta$ . Ambas cadenas poseen una región transmembrana y una cola intracitoplasmática. Los dominios extracelulares, se dividen en segmentos de 90 aminoácidos,  $\alpha 1$ ,  $\alpha 2$ ,  $\beta 1$ ,  $\beta 2$  formados por puentes de disulfuro. El área donde se concentran los residuos más polimórficos,  $\alpha 1$  y  $\beta 1$ , conforman la hendidura de unión a péptidos de hasta 20 aminoácidos. El asa  $\beta 2$ , de 90 aminoácidos, corresponde a una región no polimórfica que establece contacto con el correceptor CD4 de los linfocitos T colaboradores. Cabe mencionar que las moléculas DLAII sólo se expresan de forma constitutiva en la superficie de las células dendríticas, macrófagos y linfocitos B (Roitt et al., 2004; Punt et al., 2020; Abbas et al., 2023; Tizard, 2024).

Para codificar las cadenas de las moléculas DLAII, los caninos heredan de sus progenitores genes en haplotipos *DLA-DRA1*, no muy polimórfico (Denyer et al., 2020) y *DLA-DRB1*, *DLA-DQA1* y *DLA-DQB1* polimórficos, con 181, 30 y 86 alelos respectivamente, reconocidos en diversos estudios llevados a cabo por Wagner, (2003), Debenham et al. (2005), Kennedy et al. (2007), Catchpole et al. (2008), Niels et al. (2011), Kennedy et al. (2012) y publicados conjuntamente por el Canine MHC Nomenclature Committee en: IPD-MHC database (<https://www.ebi.ac.uk/ipd/mhc/group/DLA/>).

## El papel del DLAII en la presentación antigénica

El desarrollo de una respuesta efectiva frente a patógenos, implica complejas interacciones entre células hematopoyéticas, linfoides e inflamatorias. Patógenos extracelulares, son captados por células del sistema mononuclear fagocítico, formando un fagosoma al que se le unirá un lisosoma, conformando una estructura denominada fagolisosoma, la cual permite que enzimas proteolíticas tengan contacto con el patógeno, fragmentándolo en péptidos antigénicos. Estos, posteriormente, se unen a los DLAII, para ser transportados hasta la membrana celular quedando expuestos al exterior donde serán reconocidos por linfocitos T colaboradores (Roitt et al., 2004; Baghizadeh et al., 2009; Punt et al., 2020; Abbas et al., 2023; Ishina et al., 2023; Tizard, 2024).

La estimulación del sistema inmune específico adaptativo contra agentes no infecciosos mediante la presentación DLAII – péptido antigénico es fundamental para la diferenciación y selección positiva o negativa de los linfocitos T así como la posterior expresión de interleucinas (Perry et al., 2011).

El proceso se basa en cambios epigenéticos que activan diversas vías de señalización intracelular. Estos cambios, consisten esencialmente en un desplazamiento de los nucleosomas y por ende en una modificación transitoria de la cromatina. Enzimas como la acetiltransferasa, participan en el relajamiento del nucleosoma, mediante la hiperacetilación de las histonas, dirigidos a residuos de lisina, permitiendo que un gen se exprese, en caso contrario, cuando el nucleosoma está condensado, por desacetilación, el gen permanecerá silenciado. Otros mecanismos, tales como la metilación, permiten la formación de cromatina cerrada, generando el silenciamien-

to del gen mediante la adición de un grupo metilo ( $\text{CH}_3$ ) en una base nitrogenada, generalmente citosina dentro del ADN (Zhou et al., 2020; Barragán-Sánchez et al., 2025). Este, según Burón y Suárez et al. (2018), es el principal mecanismo de control en la expresión de genes de los linfocitos colaboradores (Th), pues al haber una hiperacetilación de las histonas en los loci, se diferenciarán en células Th1, en tanto, su metilación dará paso al desarrollo de células Th2.

La diferenciación en células Th1, involucra al factor de transcripción STAT 4, activador de los genes de transcripción de interferón  $\gamma$  (INF $\gamma$ ). El INF $\gamma$  producido, se adhiere a su receptor, produciendo la fosforilación de tirosina e induciendo la activación de los transductores de señales y activadores de la transcripción (STAT1), así como la transcripción de los genes para T-bet, la cual estimula la expresión del receptor de interleucina 12 $\beta$ 2 (IL12R $\beta$ 2), aumentando la producción de INF $\gamma$  y favoreciendo la diferenciación de los linfocitos hacia el fenotipo Th1. Estos tipos celulares, producen interleucina 2 (IL2), INF $\gamma$  y el factor de necrosis tumoral  $\beta$  (TNF $\beta$  por sus siglas en inglés), las cuales activan macrófagos a producir óxido nítrico microbicida y metabolitos de superóxido, así como a expresar monocinas proinflamatorias y moléculas de adhesión que dirigen la infiltración leucocitaria al tejido dañado (Abbas et al., 2012; Lang et al., 2024; Barragán Sánchez et al., 2025).

En lo referente a la diferenciación Th2, es el factor de transcripción GATA-3 el que regula e induce la expresión de los genes de citocinas IL3, IL4, IL5, IL9, IL10 e IL13, localizadas en el mismo *locus* génico y, las cuales además de promover las respuestas por parte de los linfocitos B, optimizan la producción de inmunoglobulinas (Ig) contra parásitos y patógenos extracelulares (Zhou y Ouyang, 2003; Monticelli et al., 2005). Por su parte, el factor de transcripción STAT3, activado por la IL6 (producida

por células dendríticas) induce la producción de citocinas proinflamatorias IL-1, IL-6, IL-17, IL21, IL-22 e IL23 por parte de linfocitos Th17, en respuesta a bacterias, hongos y autoantígenos (Cubides et al., 2015).

## Susceptibilidad o resistencia a enfermedades

Estudios realizados mediante metodologías de biología molecular, han demostrado que diferentes alelos del DLAII se asocian a la respuesta de esta frente a un agente, lo que determina la resistencia o susceptibilidad a enfermedades (Konno et al., 2026). Esto se explica por los genes polimórficos del DLAII, ya que poseen varios alelos diferentes en los individuos de una población proporcionando un amplio espectro de moléculas con la capacidad de cargar al péptido adecuado para su presentación a linfocitos T colaboradores. En ciertas circunstancias cuando disminuye el grado de polimorfismo del DLA, es decir que se reduce la variedad de antígenos que se pueden reconocer, aumentan los riesgos de enfermedades en las poblaciones (Thursz, 2000; Díaz et al., 2005; Denyer et al., 2020).

En relación a lo anterior, se han desarrollado investigaciones basados en la determinación de la presencia o ausencia de variantes genéticas de los genes DLAII (*DLA-DRB1/DQA1/DQB1*) asociados a la resistencia/protección o susceptibilidad/riesgo del desarrollo de enfermedades autoinmunes y neoplásicas como: diabetes (Kennedy et al., 2007; Catchpole et al., 2008; Holder et al., 2015; Denyer et al., 2020), hipoadrenocorticismo (Hughes et al., 2010; Safra et al., 2011; Massey et al., 2013; Gershony et al., 2019; Treeful et al., 2019;), complejo lupus eritematoso sistémico (Wilbe et al., 2009; Wilbe y Andersson, 2012), tiroiditis linfocítica autoinmune

canina (Wilbe et al., 2010), queratitis crónica superficial canina (Jokinen et al., 2011), tumor glandular mamario (Vahedi et al., 2019) y carcinoma de la glándula del saco anal (Aguirre Hernández et al., 2010).

## Enfermedades autoinmunes

La importancia de la diabetes canina (diabetes mellitus) desde el punto de vista epidemiológico, radica en el aumento de casos a nivel global. Si bien su prevalencia es desconocida, se calcula que 5 de cada 1,000 perros pueden padecerla (Davison et al., 2005; Kennedy et al., 2006b).

Su relación con los haplotipos *DLA-DRB1\*009/DQA1\*001/DQB1\*008*, *DLA-DRB1\*015/DQA1\*0061/DQB1\*023* y *DLA-DRB1\*002/DQA1\*009/DQB1\*001* fue demostrada por Kennedy et al. (2006<sup>b</sup>) y Kennedy et al. (2007) en perros de las razas Samoyedo, Terrier Tibetano y Terrier Cairn respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, los autores, en coincidencia con el estudio de Catchpole et al. (2013) suponen probabilidad de heterogeneidad entre razas, en otras palabras, la susceptibilidad a diabetes puede tener distintas causas genéticas dependiendo de la raza. Sin embargo, Catchpole et al. (2008) identificaron previamente el haplotipo *DLA-DRB1\*009/DQA1\*001/DQB1\*008* en las razas referidas, con una mayor frecuencia en la raza Samoyedo. Contrariamente, Denyer et al. (2020), no encontraron asociación significativa entre las mismas razas y la presencia de diabetes.

Un hallazgo importante en el estudio de Catchpole et al. (2008) indica la presencia de alelos protectivos (*DLA-DQA1\*004/DQB1\*013*), similares a los encontrados en la diabetes humana por Kennedy et al. (2006<sup>b,c</sup>), pero diferente al notificado por Denyer et al. (2020) (haplotipo

19; *DLA-DRB1\*015:01/DQA1\*006:01/DQB1\*020:02*) en las razas Cocker Spaniel y Border Terrier. En opinión de Denyer et al. (2020), los resultados obtenidos deben interpretarse con reserva, especialmente cuando se trata de estudios de casos controles. Aunado a ello, se advierte en estos, la exclusión de otros factores relacionados con los individuos, p.e. edad, número de animales, raza, etapa de la enfermedad, otros padecimientos, etc., lo que abre la posibilidad de dominancia de ciertos haplotipos. Por ende, se sugiere un diseño de muestreo más riguroso que reduzca el riesgo de sesgos.

La diabetes en perros se define como una enfermedad de origen autoinmune debido, entre otros aspectos, al elevado número de células Th40 identificadas y que se asocian al proceso inflamatorio crónico (Vaitaitis et al., 2024). En animales diabéticos se observa deficiencia relativa o absoluta de insulina, hiperglucemia, glucosuria persistente (Davison et al., 2008; Kumar et al., 2014; Ringstad et al., 2022) y signos clínicos como polidipsia, poliuria, polifagia y pérdida de peso (Behrend et al., 2018). Su tratamiento se basa en la administración de insulina, pero en algunas razas (Terrier Tibetano, Terrier Cairn, Schnauzer miniatura y Dachshund) puede desencadenar anticuerpos anti-insulina (Holder et al., 2015; Kim et al., 2016). Esto ocurre por la presentación de péptidos insulínicos a través del DLA clase II, lo que estimula la respuesta inmune adaptativa mediada por linfocitos T colaboradores y producción de inmunoglobulinas G. En relación con lo anterior, resulta interesante el estudio realizado por Holder et al. (2015), quienes afirman que en algunos casos de perros diabéticos y tratados, la formación de dichos anticuerpos se ve influenciada por genes DLA haplotipo *DRB1\*0015/DQA1\*006/DQB1\*023*, sugiriendo que estos están involucrados en la patogénesis de la enfermedad.

Otra enfermedad autoinmune que afecta a los perros denominada hipoadrenocorticismo primario o enfermedad de Addison, resulta en un desorden endócrino a causa de la destrucción inmunomediada del córtex adrenal seguida de insuficiencia suprarrenal y la consecuente disminución de producción de hormonas glucocorticoides como el cortisol (importante en respuestas a estrés, como regulador de la homeostasis metabólica y respuesta inmunológica) y mineralocorticoides como la aldosterona (esencial en el equilibrio de agua y electrolitos) causando signos que varían desde una simple gastroenteritis hasta el coma (Guzmán et al., 2022).

Esta enfermedad ocurre tanto en humanos como en perros jóvenes de mediana edad. Razas como Cocker Spaniel, Rottweiler, Bassethound, West Highland White Terriers y Wheaten Terriers presentan baja frecuencia (Massey et al., 2013), a la vez que otras muestran mayor riesgo a desarrollarla, estas son: Springer Spaniel, Collie barbudos (Gershony et al., 2019) Poodles (Treeful et al., 2019) y Retriever Nueva Escocia (Hughes et al., 2010). En esta última, Hughes et al. (2010) observaron con elevada frecuencia el haplotipo *DLA-DRB1\*015:02/DQA1\*006:01/DQB1\*023:01* en animales enfermos. Sin embargo, en otros estudios identificaron un haplotipo que difiere en el alelo *DRB1* (*DLA-DRB1\*015:01/DQA1\*006:01/DQB1\*023:01*) en las razas Poodle (Safra et al., 2011), Springer Spaniel y Cocker Spaniel (Massey et al., 2013), más aún, Treeful et al. (2019) lo identifican solo en Poodles machos. En hembras Poodles enfermas, en cambio, encontraron un haplotipo totalmente diferente (*DLA-DRB1\*009:01/DQA1\*001:01/DQB1\*008:01:1*), aunque los investigadores lo atribuyen al limitado número de casos en su estudio (9/124), por lo que sugieren un mayor número poblacional. Un punto importante de convergencia en estas investigaciones es la

presentación de la enfermedad de manera más temprana en individuos homocigotos sin importar el haplotipo.

Por otro lado, Massey et al. (2013) identifican un haplotipo compartido en perros de raza Labrador y West Highland White Terrier (*DLA-DRB1\*001:01/DQA1\*001:01/DQB1\*002:01*) lo que se corresponde con lo notificado por Gershony et al. (2019) específicamente en las razas West Highland White Terrier y Leonberger. Sin embargo, asocian un haplotipo de riesgo (*DLA-DRB1\*009:01/DQA1\*001:01/DQB1\*008:02*) en perros de raza Collie barbudo, afirmando que el alelo *DLA-DQA1\*001:01* en asociación con *DLA-DQB1\*008:02* o *DLA-DQB1\*002:01* son alelos que conforman los haplotipos de riesgo.

Pocos son los estudios respecto a otras afecciones autoinmunes, entre ellos están los realizados por Wilbe et al. (2009) y Wilbe y Andersson (2012), en perros de la raza Retriever de Nueva Escocia, susceptibles a desarrollar el complejo lupus eritematoso sistémico. Esta enfermedad es crónica, poco común, pero si se presenta, puede ser potencialmente mortal. Afecta a perros de otras razas, entre ellas, Beagle, Collies, Pastor Alemán, Setter Irlandés, Antiguo Pastor Inglés y Pastor de las Islas Shetland.

El complejo, se conforma por la enfermedad reumática o poliartritis inmunomediada (IMRD por sus siglas en inglés) y la meningitis-arteritis sensible a esteroides (SRMA por sus siglas en inglés); la primera, se caracteriza por la inflamación de la membrana sinovial causando dolores articulares y rigidez, en tanto la SRMA presenta inflamación de meninges y arterias generando fiebre elevada, dolor intenso e hiperestesia cervical (Wohlsein y Tipold, 2023). Los animales positivos a lupus eritematoso sistémico usualmente presentan anticuerpos antinucleares (ANA por sus siglas en inglés), es decir autoanticuerpos contra el contenido nuclear, los cuales

son útiles en el diagnóstico mediante la técnica de inmunofluorescencia (Hansson Hamlin y Lilliehöök 2009).

El estudio de Wilbe et al. (2009) formado por 3 grupos de perros de la raza Retriever de Nueva Escocia (78 controles, 51 IMRD y 49 SRMA), mostró un haplotipo de riesgo (*DRB1\*006:01/DQA1\*0050:11/DQB1\*020:01*) asociado a IMRD y ANA positivos, siendo nuevamente los perros homocigotos los más susceptibles a padecer la enfermedad. En perros con SRMA no se evidenció correlación con el haplotipo. En sus hallazgos se destaca la función esencial del proceso de regulación por el cual se expresan los genes, en particular en la región DLA de clase II (Barragán-Sánchez et al., 2025) pues este tiene influencia en la activación del sistema inmune adaptativo. En este sentido y de acuerdo a Handunnethi et al. (2010) la desregulación genética puede inducir enfermedades como lupus u otras afecciones autoinmunitarias. Con todo, Wilbe y Andersson (2012) se abstienen de dar recomendaciones a criadores basándose exclusivamente en pruebas genéticas para el genotipo DLA clase II.

Las conclusiones de diversos autores con respecto a otras enfermedades autoinmunes presentan ciertas discrepancias, tal es el caso de la tiroiditis linfocítica autoinmune, pues Kennedy et al. (2006a), aún después de asociarla al haplotipo de riesgo *DLA-DRB1\*012:01/DQA1\*001:01/DQB1\*002:01* en perros de raza Doberman Pinscher concluyen que no es vinculable con otras razas, sin embargo, años más tarde, Sundberg (2012), identificó el mismo haplotipo de riesgo en perros de raza Schnauzer gigante, pero detalla que el riesgo de padecer la enfermedad está más en dependencia del alelo *DRB1\*012:01* que del haplotipo. Por otra parte, Wilbe et al. (2010) y Sundberg (2012) consideran que el haplotipo protector encontrado (*DLA-DRB1\*013:01/DQA1\*003:01/DQB1\*005:01*) proporciona información suficiente para la selección de animales, no obstante, es

recomendable realizar estudios adicionales para alcanzar conclusiones definitivas. Esta enfermedad en particular, es de interés en medicina veterinaria debido al deterioro gradual de la glándula tiroides causada por la formación de anticuerpos contra ésta, lo que conlleva a una reacción inflamatoria seguida de hipotiroidismo y disminución de la producción de hormonas que controlan diversas funciones metabólicas.

Una enfermedad autoinmune que se ha asociado a un haplotipo DLAII (*DLA-DRB1\*015:01/DQA1\*006:01/DQB1\*003:01*) es la queratitis crónica superficial en perros homocigotos de la raza Pastor Alemán (Jokinen et al., 2011; Barrientos et al., 2013). Dicha enfermedad se presenta en el 82% de perros entre 4 y 7 años de edad de la raza mencionada (Ergin et al., 2021). Ésta es una afección crónica progresiva que se distingue por la inflamación bilateral de la córnea causada por la infiltración de células inmunitarias en el epitelio corneal y estroma.

Cabe destacar que en investigaciones llevadas a cabo por Williams (2005) han logrado identificar células que expresan DLAII, linfocitos T colaboradores e interferón gamma (INF $\gamma$ ) en estroma (capa que se localiza en la córnea y esclerótica, responsable de dar soporte estructural), epitelio del limbo corneal (zona entre la córnea y esclerótica, que contiene células madres regeneradoras de la córnea) y epitelio conjuntival (capa que cubre la superficie interna del párpado), lo cual podría ser un factor determinante en la presentación de la inflamación corneal en los casos de individuos que cursan la enfermedad.

En relación a lo antes expuesto, se conoce además que las moléculas DLAII están estrechamente relacionadas con el proceso de tolerancia inmunológica al afectar la capacidad de las células T para reconocer y reaccionar contra los autoantígenos, ya sea aumentando la susceptibilidad o confiriendo resistencia. En otras pa-

labras, si los linfocitos T en desarrollo dentro del timo reconocen las moléculas del DLAI unidos a péptidos propios (autoantígenos) con una avidéz o fuerza de unión demasiado alta, se promoverá la apoptosis de estas células T (selección negativa), previniendo enfermedades autoinmunes, mientras que una avidéz intermedia permite la selección positiva que conduce a la generación de células T que suprimen la respuesta autoinmune (células T reguladoras) (Chávez et al., 2017).

## Neoplasias

El carcinoma de la glándula del saco anal y los tumores de la glándula mamaria son neoplasias de gran importancia, debido a su comportamiento agresivo, potencial metastásico, severo compromiso funcional y drástica afectación en la calidad de vida de los perros (Ariyaratna et al., 2022; Repasy et al., 2022; Tkaczyk-Wliził et al., 2023). En un estudio llevado a cabo en perros de la raza Cocker spaniel inglés con edades de 8 años y mayores, Aguirre-Hernández et al. (2010) demuestran que el riesgo de padecer neoplasias como el carcinoma de la glándula del saco anal se asocia con el alelo *DLA-DQB1\*007:01*, en tanto el alelo *DLA-DQB1\*020:01* resultó ser protector. Por su parte, Vahedi et al. (2019) evidencian la relación de *DLA-DRB1.2* con el riesgo de padecer tumor glandular mamario en perras homocigotas pero no encontró diferencia significativa entre las razas. No obstante, estudios de ocurrencia indican una mayor frecuencia en razas puras como Poodle, Cocker spaniel, Pastor Alemán (Bronden et al., 2010; Salas et al., 2015), Labrador retriever, Maltes, Chihuahua, Beagle, Yorkshire terrier, Bichon frisé, Springer spaniel inglés, Setter, Hound (Bronden et al., 2010), incluso se reporta mayor predisposición en hembras enteras (Cassali et al., 2011; Choi et al., 2023) con edades entre

los 8 y 10 años (Clavijo Maldonado et al., 2020; Moon et al., 2022; Srisawat et al., 2024) presentando además, un alto porcentaje de mortalidad (Adams et al., 2010; Davis y Ostrander, 2014).

Es importante mencionar que células del sistema inmune innato y adaptativo se encuentran normalmente en la glándula del saco anal y en los lóbulos secretores de las glándulas mamarias, permitiendo que los complejos DLAI/DLAI - péptidos antigénicos sean presentados por las CPA a los linfocitos T citotóxicos y colaboradores, mediando la respuesta inmune celular y humoral contra el desarrollo de tumores (Farhood et al., 2018). El aumento del infiltrado celular, principalmente de macrófagos y linfocitos T en los tejidos de soporte (estroma) y funcional (parénquima) de la glándula mamaria (Goff y Danforth, 2021; Monteiro et al., 2021), así como en el estroma de la glándula del saco anal influye en la aparición y desarrollo de tumores (Bacci et al., 2024). En pocas palabras, en un ambiente normal, la infiltración de leucocitos e interleucinas son importantes para la eliminación de tumores, sin embargo, la inflamación crónica producida por una infiltración mayor, se correlaciona negativamente con la aparición de tumores.

En este contexto, se reconoce a los genes DLAI como la región mejor caracterizada que evidencia su participación en el desarrollo de los tumores (Chaudhuri et al., 2000; Harrath et al., 2006; Yang et al., 2011), es decir, los tumores utilizan estrategias para evadir el sistema inmunitario disminuyendo la expresión de antígenos en su superficie unidos al DLA, dificultando su reconocimiento por parte de los linfocitos T, este proceso se conoce como escape inmunitario (Ahmadi et al., 2024).

Por otra parte, las interleucinas y su regulación genética también tienen un papel importante en el desarrollo de patologías no infecciosas (Barragán Sánchez et al., 2025). A manera de ejemplo, ciertas interleucinas

como la IL6, IL8 e IL10 pueden actuar como inmunopromotores activando el sistema inmunitario para atacar células cancerosas o como inmunosupresores permitiendo la supervivencia, proliferación y metástasis de células tumorales, no obstante, en el caso de enfermedades autoinmunes, sus efectos varían de acuerdo a la enfermedad, por ejemplo un incremento de IL10 en lupus eritematoso sistémico contribuye a la patogenia de la enfermedad (Angelo y Kurzrock, 2007; Hamidullah et al., 2012; Gelaleti et al., 2012; Ma et al., 2017; Copiolo et al., 2018). Por otro lado, a la IL17 se le relaciona con procesos inflamatorios crónicos de autoinmunidad y respuesta antitumoral. Esta, según Perry et al. (2011) además de su papel inflamatorio en casos de lupus en humanos, modula la respuesta de los linfocitos B, interfiriendo con el proceso de selección clonal que permite eliminar linfocitos B autorreactivos, lo que conduce a una mayor producción de autoanticuerpos, contribuyendo a la patogénesis de enfermedades autoinmunes.

En los estudios presentados en esta revisión, se advierte la asociación de alelos de los genes del DLA clase II en la predisposición al desarrollo de enfermedades autoinmunes y neoplásicas (Tabla 1 y 2). Destaca particularmente un alelo de riesgo común (*DQA1\*006*) asociado a diabetes en perros Terrier tibetano (Kennedy et al., 2007), hipoadrenocorticismo en Retriever de Nueva Escocia (Hughes et al., 2010), Poodle (Safra et al., 2011), Springer spaniel, cocker spaniel (Massey et al., 2013) así como a queratitis crónica superficial en Pastor Alemán (Jokinen et al., 2011) en tanto se identifica como alelo de protección contra diabetes en las razas cocker spaniel y Border terrier (Denyer et al., 2020). Lo mismo sucede con el alelo *DQA1\*001.01*, pues coincide en distintas razas vinculados con diferentes enfermedades autoinmunes como hipoadrenocorticismo (Treeful et al., 2019; Massey et al., 2013; Gershony et al., 2019) y tiroiditis linfocítica autoinmune

(Wilbe et al., 2010). Esto sugiere que la función del alelo difiere entre las razas en las diversas enfermedades, probablemente debido a las interacciones genéticas dadas por las combinaciones con otros genes del DLA o de otras partes del genoma o bien por presiones selectivas distintas. En resumen, lo que es dañino en una raza podría ser beneficioso en otro o en todo caso neutro. Aunque se necesitan más factores genéticos para entender la expresión completa de la enfermedad, los hallazgos pueden ser un buen indicador temprano de la susceptibilidad a enfermedades autoinmunes y neoplásicas en perros.

Investigadores como Kennedy et al. (2006b, 2007) y Catchpole et al. (2013) atribuye sus resultados a la heterogeneidad entre razas, lo que indica la alta variabilidad genética presente en los genes DLA dentro de una población, incluyendo las diferentes razas. Esta variabilidad es crucial para la defensa inmunológica, ya que permite al sistema reconocer una amplia gama de patógenos. Es una manifestación de la evolución y adaptación de las poblaciones a diferentes entornos y desafíos inmunológicos, con implicaciones importantes para la salud individual y colectiva. En contraste, la homocigosidad reportada por Wilbe et al. (2009), Hughes et al. (2010), Jokinen et al. (2011), Safra et al. (2011), Massey et al. (2013) y Vaheedi et al. (2019) producto de cruce entre consanguíneos con el fin de conservar características y genes específicas en ciertas razas puras (cría selectiva-endogamia), trae como consecuencia una diversidad genética limitada en el DLA y por ende una capacidad reducida del animal a responder frente a patógenos, aumentando el riesgo a presentar enfermedades (Ardanaz, 2008; Letko et al., 2023; Miyamae et al., 2023).

**Tabla 1. Genes DLA relacionados con enfermedades autoinmunes en caninos**

| Enfermedad                  | Razas                       | Genes DLA II de riesgo                    | Genes DLA protectivos                                        | Autor                                         |  |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--|
| Diabetes canina             | Samoyedo                    | DRB1*009/DQA1*001/<br>DQB1*008            | -                                                            | Kennedy et al., 2006b<br>Kennedy et al., 2007 |  |
|                             | Terrier tibetano            | DRB1*015/DQA1*006/<br>DQB1*023            | -                                                            |                                               |  |
|                             | Terrier cairn               | DRB1*002/DQA1*009/<br>DQB1*001            | -                                                            |                                               |  |
|                             | Samoyedo                    | DRB1*009/DQA1*001/<br>DQB1*008            | DQA1*004/DQB1*013                                            | Catchpole et al., 2008                        |  |
|                             | Terrier tibetano            |                                           |                                                              |                                               |  |
|                             | Terrier cairn               |                                           |                                                              |                                               |  |
|                             | Samoyedo                    | Sin hallazgos                             | -                                                            | Denyer et al., 2020                           |  |
|                             | Terrier tibetano            |                                           |                                                              |                                               |  |
|                             | Terrier cairn               |                                           |                                                              |                                               |  |
|                             | Cocker spaniel              | -                                         | haplotipo 19,<br>DRB1*015:01/<br>DQA1*006:01/<br>DQB1*020:02 |                                               |  |
|                             | Border terrier              |                                           |                                                              |                                               |  |
| Hipoadrenocortici-<br>cismo | Retriever de Nueva Escocia  | DRB1*015:02/ DQA1*006:01/<br>DQB1*023:01  | -                                                            | Hughes et al., 2010                           |  |
|                             | Poodle                      | DRB1*015:01/DQA1*006:01/<br>DQB1*023:01   | -                                                            | Safra et al., 2011                            |  |
|                             | Springer spaniel            | DRB1*015:01/DQA1*006:01/<br>DQB1*023:01   | -                                                            | Massey et al., 2013                           |  |
|                             | Cocker spaniel              |                                           |                                                              |                                               |  |
|                             | Poodle                      | Machos                                    | -                                                            | Treeful et al., 2019                          |  |
|                             |                             | DRB1*015:01/DQA1*006:01/<br>DQB1*023:01   |                                                              |                                               |  |
|                             |                             | Hembras                                   |                                                              |                                               |  |
|                             |                             | DRB1*009:01/DQA1*001:01/<br>DQB1*008:01:1 |                                                              |                                               |  |
|                             | Labrador                    | DRB1*001:01/DQA1*001:01/<br>DQB1*002:01   | -                                                            | Massey et al., 2013                           |  |
|                             | West Highland White Terrier |                                           |                                                              |                                               |  |
|                             | West Highland White Terrier | DRB1*001:01/DQA1*001:01/<br>DQB1*002:01   | -                                                            | Gershony et al., 2019                         |  |
|                             | Leonberger                  |                                           |                                                              |                                               |  |
|                             | Collies barbudos            | DRB1*009:01/DQA1*001:01/<br>DQB1*008:02   | -                                                            | Gershony et al., 2019                         |  |

|                                   |                            |                                            |                                             |                                                 |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Complejo lupus eritomatoso        | Retriever de Nueva Escocia | DRB1*006:01/DQA1*0050:11/<br>DQB1*020:01   | -                                           | Wilbe et al., 2009                              |
| Tiroiditis linfocítica autoinmune | Doberman pinscher          | DRB1*012:01/DQA1*001:01/<br>DQB1*002:01    | -                                           | Kennedy et al., 2006b                           |
|                                   | Schnauzer gigante          | DRB1*012:01/DQA1*001:01/<br>DQB1*002:02    | DRB1*013:01/<br>DQA1*003:01/<br>DQB1*005:00 | Sundberg (2012)                                 |
|                                   | Schnauzer gigante          | DRB1*012:01/DQA1*001:01/<br>DQB1*002:01    | DRB1*013:01/<br>DQA1*003:01/<br>DQB1*005:01 | Wilbe et al., 2010                              |
| Queratitis crónica superficial    | Pastor Alemán              | DRB1 *015:01/DQA1 *006:01/<br>DQB1 *003:01 | -                                           | Jokinen et al., 2011<br>Barrientos et al., 2013 |

Tabla 2. Genes DLA relacionados con enfermedades neoplásicas en caninos

| Enfermedad                             | Razas          | Genes DLA II de riesgo | Genes DLA protectivos | Autor                                  |
|----------------------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Carcinoma de la glándula del saco anal | Cocker spaniel | DLA-DQB1*007:01        | DLA-DQB1*020:01       | Aguirre-Hernández <i>et al.</i> , 2010 |
| Tumor glandular mamario                | -              | DLA-DRB1.2             | -                     | Vahedi <i>et al.</i> , 2019            |

Aun cuando es necesario identificar otros factores genéticos asociados a las enfermedades autoinmunes y neoplásicas, los aspectos descritos adquieren relevancia en la medicina veterinaria en la reducción de la incidencia, prevención y control de enfermedades de animales en riesgo de desarrollar ciertas enfermedades, lo mismo que para la selección de animales con características deseables (Cole et al., 2016; Gershony et al., 2019). Investigaciones recientes llevadas por Konno et al. (2026) en perros de raza Beagle han permitido el análisis de las secuencias completas de los genes DLAI y DLAII mediante técnicas de genotificación. Sus resultados son promisorios,

pues aportan evidencia significativa para comprender la relación entre el polimorfismo DLA completo y la heterogeneidad de la respuesta inmune en perros.

## CONCLUSIONES

Los hallazgos en los estudios analizados muestran asociación de alelos DLA con diferentes enfermedades autoinmunes y neoplásicas en perros de diversas razas.

El alto polimorfismo del DLA es un mecanismo de defensa evolutivo, en tanto la homocigosidad observada

con una mayor frecuencia es el resultado de la cría selectiva para preservar rasgos de razas puras, lo que se correlaciona con una diversidad genética limitada en el DLA, aumentando el riesgo a diversas patologías autoinmunes y neoplásicas.

Aunque la identificación de haplotipos de riesgo es un indicador temprano de susceptibilidad, la complejidad de la patogénesis de estas enfermedades, que involucra interacciones genéticas y factores externos, sugiere la necesidad de un muestreo más riguroso y análisis más profundos en futuras investigaciones.

Es indudable que la participación de los genes del DLA involucrados en la presentación antigénica a los linfocitos T, constituyen un recurso en la detección de animales resistentes o susceptibles a enfermedades y, por ende, un método factible para la prevención y control de estas, así como para la selección de animales en riesgo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., y Pillai, S. (2023). *Basic immunology* (7.<sup>a</sup> ed.). Elsevier.
- Adams, V. J., Evans, K. M., Sampson, J., y Wood, J. L. N. (2010). Methods and mortality results of a health survey of purebred dogs in the UK. *Journal of Small Animal Practice*, 51(10), 512–524. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2010.00974.x>
- Aguirre Hernández, J., Polton, G., Kennedy, L. J., y Sargan, D. R. (2010). Association between anal sac gland carcinoma and dog leukocyte antigen-DQB1 in the English Cocker Spaniel. *Tissue Antigens*, 76(6), 476–481. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0039.2010.01554.x>
- Ahmadi, M., Abbasi, R., y Rezaie, J. (2024). Tumor immune escape: Extracellular vesicles roles and therapeutics application. *Cell Communication and Signaling*, 22, 9. <https://doi.org/10.1186/s12964-023-01370-3>
- Angelo, L. S., y Kurzrock, R. (2007). Vascular endothelial growth factor and its relationship to inflammatory mediators. *Clinical Cancer Research*, 13, 2825–2830. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-06-2416>
- Ariyaratna, H., Aberdein, D., Thomson, N., Gibson, I., y Munday, J. (2022). Canine mammary gland disease in New Zealand: A review of samples from 797 dogs. *New Zealand Veterinary Journal*, 70(2), 95–100. <https://doi.org/10.1080/00480169.2021.2004953>
- Bacci, B., Brunetti, B., Maino, C., Martinoli, G., Bacon, N. J., y Avallone, G. (2024). The immune contexture in canine anal sac adenocarcinoma: Immunohistochemical quantification of tumor-infiltrating lymphocytes and tumor-associated macrophages with image analysis. *Animals*, 14(24), 3696. <https://doi.org/10.3390/ani14243696>
- Baghizadeh, A., Bahaaddini, M., Mohamadabadi, M. R., y Askari, N. (2009). Allelic variations in exon 2 of caprine MHC class II DRB3 gene in Raeini Cashmere goat. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 6(4), 454–459.
- Barragán Sánchez, P., Balastegui, M. T., Marín García, P. J., y Llobat, L. (2025). Genetic regulation of immune response in dogs. *Genes*, 16(7), 764. <https://doi.org/10.3390/genes16070764>
- Barrientos, L. S., Zapata, G., Crespi, J. A., Posik, D. M., Díaz, S., It, V., Peral-García, P., y Giovambattista, G. (2013). A study of the association between chronic superficial keratitis and polymorphisms in the upstream regulatory regions of DLA-DRB1, DLA-DQB1 and DLA-DQA1. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 156(3–4), 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2013.10.009>
- Behrend, E., Holford, A., Lathan, P., Rucinsky, R., y Schulman, R. (2018). AAHA diabetes management guidelines for dogs and cats. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 54(1), 1–21. <https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-6822>
- Bronden, L. B., Nielsen, S. S., Toft, N., y Kristensen, A. T. (2010). Data from the Danish veterinary cancer registry on the occurrence and distribution of neoplasms in dogs in Denmark. *Veterinary Record*, 166, 586–590. <https://doi.org/10.1136/vr.b4808>

- Burón, H. J. S., y Suárez, F. G. M. (2018). Mecanismos epigenéticos en la plasticidad y flexibilidad de los linfocitos T CD4. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 34(1), 42–50.
- Cassali, G. D., Lavalle, G. E., Nardi, A. B. D., Ferreira, E., Estrela Lima, A., Alessi, A. C., Daleck, C. R., Salgado, B. S., Fernandes, C. G., Sobral, R. A., **et al.** (2011). Consensus for the diagnosis, prognosis and treatment of canine mammary tumors. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*, 4(2), 153–180. <https://doi.org/10.24070/bjvp.1983-0246.v17i3p152-163>
- Catchpole, B., Adams, J. P., Holder, A. L., Short, A. D., Ollier, W. E. R., y Kennedy, L. J. (2013). Genetics of canine diabetes mellitus: Are the diabetes susceptibility genes identified in humans involved in breed susceptibility to diabetes mellitus in dogs? *The Veterinary Journal*, 195(2), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.11.013>
- Catchpole, B., Kennedy, L. J., Davison, L. J., y Ollier, W. E. R. (2008). Canine diabetes mellitus: From phenotype to genotype. *Journal of Small Animal Practice*, 49, 4–10. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2007.00398.x>
- Chaudhuri, S., Cariappa, A., Tang, M., Bell, D., Haber, D. A., Isselbacher, K. J., Finkelstein, D., Forcione, D., y Pillai, S. (2000). Genetic susceptibility to breast cancer: HLA DQB03032 and HLA DRB111 may represent protective alleles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(21), 11451–11454. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.21.11451>
- Chávez, S. F. R., Rojas-Lemus, M., Fortoul, V. T. I., y Tenorio, Z. E. P. (2017). Células T reguladoras tímicas: Su origen, función e importancia en la salud y la enfermedad. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 60(5), 36–44.
- Choi, J., Yoo, M. J., Park, S. Y., y Seol, J. W. (2023). Antitumor effects of esculetin, a natural coumarin derivative, against canine mammary gland tumor cells by inducing cell cycle arrest and apoptosis. *Veterinary Sciences*, 10(2), 84. <https://doi.org/10.3390/vetsci10020084>
- Clavijo Maldonado, A., Pérez Zapata, J. M., Ferreira, E., Vargas Hernández, C., y Rivera Páez, F. A. (2020). Tumor mamario canino: Factores de riesgo y su influencia epidemiológica en Manizales, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 25(3), 98–107. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1888>
- Copio, J. C., Porporatto, C., Lazara, D. X., 2018, Inmunología e inmunopatología: Desde la complejidad biomolecular hacia la simplificación conceptual. 1ª. edición. Ed. Brujas, Córdoba.
- Cubides, H. H., Mora, K. C. M., Parra, I. L. V., y Londoño, P. J. (2015). Perfil de citocinas relacionadas con linfocitos Th17: Rol fisiopatológico y potencial uso como biomarcadores de actividad del lupus eritematoso sistémico. *Revista Colombiana de Reumatología*, 22(4), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.rcreu.2015.08.002>
- Davis, B. W., y Ostrander, E. A. (2014). Domestic dogs and cancer research: A breed-based genomics approach. *ILAR Journal*, 55, 59–68.
- Davison, L. J., Herrtage, M. E., y Catchpole, B. (2005). Study of 253 dogs in the United Kingdom with diabetes mellitus. *Veterinary Record*, 156(15), 467–471. <https://doi.org/10.1136/vr.156.15.467>
- Davison, L. J., Weenink, S. M., Christie, M. R., Herrtage, M. E., y Catchpole, B. (2008). Autoantibodies to GAD65 and IA-2 in canine diabetes mellitus. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 126, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2008.06.016>

- Debenham, S. L., Hart, E. A., Ashurst, J. L., Howe, K. L., Quail, M. A., Ollier, W. E., y Binns, M. M. (2005). Genomic sequence of the class II region of the canine MHC: Comparison with the MHC of other mammalian species. *Genomics*, 85, 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2004.09.009>
- Denyer, A. L., Massey, J. P., Davison, L. J., Ollier, W. E., Catchpole, B., y Kennedy, L. J. (2020). Dog leucocyte antigen (DLA) class II haplotypes and risk of canine diabetes mellitus in specific dog breeds. *Canine Medicine and Genetics*, 7, 15. <https://doi.org/10.1186/s40575-020-00093-9>
- Diaz, S., Giovambattista, G., y Peral-García, P. (2005). Polymorphisms of the upstream regulatory region of the major histocompatibility complex DRB genes in domestic horses. *International Journal of Immunogenetics*, 32(2), 91–98. <https://doi.org/10.1111/j.1744-313X.2005.00496.x>
- Ergin, I., Sainkaplan, S., y Şenel, O. O. (2021). Clinical assessment of chronic superficial keratitis (Überreiter's syndrome) in dogs: A retrospective study (2012–2019). *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 70(2), 185–195. <https://doi.org/10.51607/22331360.2021.70.2.185>
- Farhood, B., Najafi, M., y Mortezaee, K. (2018). CD8+ cytotoxic T lymphocytes in cancer immunotherapy: A review. *Journal of Cellular Physiology*, 234(6), 8509–8521. <https://doi.org/10.1002/jcp.27782>
- Gelaleti, G. B., Jardim, B. V., Leonel, C., Moschetta, M. G., y Zuccari, D. A. (2012). Interleukin-8 as a prognostic serum marker in canine mammary gland neoplasias. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 146, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.02.005>
- Gershony, L. C., Belanger, J. M., Hytönen, M. K., Lohi, H., Famula, T. R., y Oberbauer, A. M. (2020). Genetic characterization of Addison's disease in bearded collies. *BMC Genomics*, 21(1), 833. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-07243-0>
- Gershony, L. C., Belanger, J. M., Short, A. D., Le, M., Hytönen, M. K., Lohi, H., Famula, T. R., Kennedy, L. J., y Oberbauer, A. M. (2019). DLA class II risk haplotypes for autoimmune diseases in the bearded collie offer insight into autoimmunity signatures across dog breeds. *Canine Medicine and Genetics*, 6, 2. <https://doi.org/10.1186/s40575-019-0070-7>
- Goff, S. L., y Danforth, D. N. (2021). The role of immune cells in breast tissue and immunotherapy for the treatment of breast cancer. *Clinical Breast Cancer*, 21(1), e63–e73. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2020.06.011>
- Gutiérrez, P. J. A. (2010). *Inmunología veterinaria*. Manual Moderno.
- Guzmán, R. P. J., Bennaim, M., Shiel, R. E., y Mooney, C. T. (2022). Diagnosis of canine spontaneous hypoadrenocorticism. *Canine Medicine and Genetics*, 9, 6. <https://doi.org/10.1186/s40575-022-00119-4>
- Hamidullah, Changkija, B., y Konwar, R. (2012). Role of interleukin-10 in breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment*, 133(1), 11–21. <https://doi.org/10.1007/s10549-011-1855-x>
- Handunnetthi, L., Ramagopalan, S. V., Ebers, G. C., y Knight, J. C. (2010). Regulation of major histocompatibility complex class II gene expression, genetic variation and disease. *Genes and Immunity*, 11(2), 99–112. <https://doi.org/10.1038/gene.2009.83>
- Hansson-Hamlin, H., y Lilliehöök, I. A. (2009). Possible systemic rheumatic disorder in the Nova Scotia Duck Tolling Retriever. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 51(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-51-16>

- Holder, A. L., Kennedy, L. J., Ollier, W. E. R., y Catchpole, B. (2015). Breed differences in development of anti-insulin antibodies in diabetic dogs and investigation of the role of dog leukocyte antigen (DLA) genes. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 167(3–4), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2015.07.014>
- Hughes, A. M., Jokinen, P., Bannasch, D. L., Lohi, H., y Oberbauer, A. M. (2010). Association of a dog leukocyte antigen class II haplotype with hypoadrenocorticism in Nova Scotia Duck Tolling Retrievers. *Tissue Antigens*, 75(6), 684–690. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0039.2010.01440.x>
- Ishina, I. A., Zakharova, M. Y., Kurbatskaia, I. N., Mamedov, A. E., Belogurov, A. A., y Gabibov, A. G. (2023). MHC class II presentation in autoimmunity. *Cells*, 12(2), 314. <https://doi.org/10.3390/cells12020314>
- Jokinen, P., Rusanen, E. M., Kennedy, L. J., y Lohi, H. (2011). MHC class II risk haplotype associated with canine chronic superficial keratitis in German Shepherd dogs. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 140(1–2), 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2010.11.007>
- Kennedy, L. J., Altet, L., Angles, J. M., Barnes, A., Carter, S. D., Francino, O., Gerlach, J. A., Happ, G. M., Ollier, W. E., Polvi, A., Thomson, W., y Wagner, J. L. (2000). Nomenclature for factors of the dog major histocompatibility system (DLA): First report of the ISAG DLA Nomenclature Committee. *Animal Genetics*, 31(1), 52–61.
- Kennedy, L. J., Huson, H. J., Leonard, J., Angles, J. M., Fox, L. E., Wojciechowski, J. W., Yuncker, C., y Happ, G. M. (2006a). Association of hypothyroid disease in Doberman Pinscher dogs with a rare major histocompatibility complex DLA class II haplotype. *Tissue Antigens*, 67, 53–56. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0039.2005.00518.x>
- Kennedy, L. J., Ollier, W. E., Marti, E., Wagner, J. L., y Storb, R. F. (2012). Canine immunogenetics. En E. A. Ostrander, U. Giger, y K. Lindblad-Toh (Eds.), *The genetics of the dog* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 91–135). CABI.
- Kennedy, L. J., Willard, M. D., Cardinet, G. H., y Lindstrom, J. (2006b). Identification of susceptibility and protective major histocompatibility complex haplotypes in canine diabetes mellitus. *Tissue Antigens*, 68, 467–476. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0039.2006.00716.x>
- Kennedy, L., Barnes, A., Short, A., Brown, J., Lester, S., Seddon, J., Fleeman, L., Francino, O., Brkljacic, M., y Knyazev, S. (2007). Canine DLA diversity: I. New alleles and haplotypes. *Tissue Antigens*, 69, 272–288. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0039.2006.00779.x>
- Kennedy, L. J., Barnes, A., Ollier, W. E., y Day, M. J. (2006c). Association of a common dog leucocyte antigen class II haplotype with canine primary immune-mediated haemolytic anaemia. *Tissue Antigens*, 68, 502–508. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0039.2006.00715.x>
- Kim, J. H., Furrow, E., Ritt, M. G., Utz, P. J., Robinson, W. H., Yu, L., **et al.** (2016). Anti-insulin immune responses are detectable in dogs with spontaneous diabetes. *PLoS ONE*, 11(3), e0152397. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152397>
- Konno, H., Miyamae, J., Kajitani, R., Kugou, K., Kataoka, H., Akai, M., Ishizaka, T., y Chiba, K. (2026). PacBio long-read amplicon sequencing of dog leukocyte antigen genes at full-length level in Beagle dogs. *Experimental Animals*, 1341–1357. <https://doi.org/10.1538/expanim.25-0111>

- Kumar, P., Kumari, R. R., Kumar, M., Kumar, S., y Chakrabarti, A. (2014). Current practices and research updates on diabetes mellitus in canine. *Veterinary World*, 7(11), 952–959. <https://doi.org/10.14202/vet-world.2014.952-959>
- Lang, H. P., Osum, K. C., & Friedenberg, S. G. (2024). A review of CD4+ T cell differentiation and diversity in dogs. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 275, 110816. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2024.110816>
- Ma, Y., Ren, Y., Dai, Z. J., Wu, C. J., Ji, Y. H., & Xu, J. (2017). IL-6, IL-8 and TNF-alpha levels correlate with disease stage in breast cancer patients. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 26, 421–426. <https://doi.org/10.17219/acem/62120>
- Massey, J., Boag, A., Short, A. D., Scholey, R. A., Henthorn, P. S., Littman, M. P., Husebye, E., Catchpole, B., Pedersen, N., Mellersh, C. S., Ollier, W. E. R., & Kennedy, L. J. (2013). MHC class II association study in eight breeds of dog with hypoadrenocorticism. *Immunogenetics*, 65(4), 291–297. <https://doi.org/10.1007/s00251-013-0680-2>
- Miyamae, J., Okano, M., Katakura, F., Kulski, J. K., Moritomo, T., & Shiina, T. (2023). Large-scale polymorphism analysis of dog leukocyte antigen class I and class II genes (DLA-88, DLA-12/88L and DLA-DRB1) and comparison of the haplotype diversity between breeds in Japan. *Cells*, 12(5), 809. <https://doi.org/10.3390/cells12050809>
- Monteiro, L. N., dos Reis, D. C., Salgado, B. S., & Cassali, G. D. (2021). Clinical significance and prognostic role of tumor-associated macrophage infiltration according to histologic location in canine mammary carcinomas. *Research in Veterinary Science*, 135, 329–334. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.10.010>
- Monticelli, S., Lee, D. U., Nardone, J., Bolton, D. L., & Rao, A. (2005). Chromatin-based regulation of cytokine transcription in Th2 cells and mast cells. *International Immunology*, 17(11), 1513–1524. <https://doi.org/10.1093/intimm/dxh329>
- Moon, C. H., Kim, D. H., Yun, S. H., Lee, H. B., & Jeong, S. M. (2022). Assessment of prognostic factors in dogs with mammary gland tumors: 60 cases (2014–2020). *Korean Journal of Veterinary Research*, 62, e18. <https://doi.org/10.14405/kjvr.20210046>
- Niels, C. P., Liu, H., Greenfield, D. L., & Echols, L. G. (2012). Multiple autoimmune diseases syndrome in Italian Greyhounds: Preliminary studies of genome-wide diversity and possible associations within the dog leukocyte antigen (DLA) complex. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 145(1–2), 264–276. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2011.11.015>
- Perry, D., Peck, A. B., Carcamo, W. C., Morel, L., & Nguyen, C. Q. (2011). The current concept of T(H)17 cells and their expanding role in systemic lupus erythematosus. *Arthritis*, 2011, 810649. <https://doi.org/10.1155/2011/810649>
- Punt, J., Stranford, S. A., Jones, P. P., & Owen, J. A. (2020). *Kuby. Inmunología* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- Repasy, A. B., Selmic, L. E., & Kisseberth, W. C. (2022). Canine apocrine gland anal sac adenocarcinoma: A review. *Topics in Companion Animal Medicine*, 50, 100682. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2022.100682>

- Ringstad, N. K., Lingaas, F., & Thoresen, S. I. (2022). Breed distributions for diabetes mellitus and hypothyroidism in Norwegian dogs. *Canine Medicine and Genetics*, 9, 9. <https://doi.org/10.1186/s40575-022-00121-w>
- Roitt, I. M., Brostoff, J., & Male, D. (2004). *Inmunología* (9.<sup>a</sup> ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Safra, N., Pedersen, N. C., Wolf, Z., Johnson, E. G., Liu, H. W., Hughes, A. M., Young, A., & Bannasch, D. L. (2011). Expanded dog leukocyte antigen (DLA) single nucleotide polymorphism (SNP) genotyping reveals spurious class II associations. *The Veterinary Journal*, 189(2), 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.06.023>
- Salas, Y., Márquez, A., Diaz, D., & Romero, L. (2015). Epidemiological study of mammary tumors in female dogs diagnosed during the period 2002–2012: A growing animal health problem. *PLoS ONE*, 10(5), e0127381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127381>
- Srisawat, W., Pringproa, K., Prachasilchai, W., Thongtharb, A., & Sthitmatee, N. (2024). Epidemiology and classification of canine and feline mammary gland tumors: A histopathological survey of 437 mammary gland tumor biopsies performed in a secondary care hospital in Chiang Mai, Thailand from 2012 to 2019. *PeerJ*, 12, e17077. <https://doi.org/10.7717/peerj.17077>
- Sundberg, K. (2012). *Unraveling the genetics of lymphocytic thyroiditis* (Doctoral thesis). Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Swedish University of Agricultural Sciences. <https://res.slu.se/id/publ/79035>
- Thursz, M. (2000). Genetic susceptibility in infectious diseases. *Biotechnology & Genetic Engineering Reviews*, 17, 253–264.
- Tizard, I. R. (2024). *Veterinary immunology* (11th ed.). Elsevier.
- Tkaczyk-Wlizło, A., Śmiech, A., Kowal, K., Różańska, D., & Ślaska, B. (2023). Histopathological evaluation of canine mammary gland tumours: A study of 92 cases. *Medycyna Weterynaryjna*, 79(7), 356–363. <https://doi.org/10.21521/mw.6771>
- Treeful, A. E., Rendahl, A. K., & Friedenberg, S. G. (2019). DLA class II haplotypes show sex-specific associations with primary hypoadrenocorticism in Standard Poodle dogs. *Immunogenetics*, 71(5–6), 373–382. <https://doi.org/10.1007/s00251-019-01113-0>
- Vahedi, S. M., Nikbakht, G., Jamshidi, S., Lankarani, L., Alimi, N., & Esmailnejad, A. (2019). Association between DLA-DRB1.2 allelic diversity and development of mammary gland tumors in dogs. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 61(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13028-019-0491-z>
- Vaitaitis, G., Webb, T., Webb, C., Sharkey, C., Sharkey, S., Waid, D., & Wagner, D. H. (2024). Canine diabetes mellitus demonstrates multiple markers of chronic inflammation including Th40 cell increases and elevated systemic-immune inflammation index, consistent with autoimmune dysregulation. *Frontiers in Immunology*, 14, 1319947. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1319947>
- Wagner, J. L. (2003). Molecular organization of the canine major histocompatibility complex. *Journal of Heredity*, 94(1), 23–26. <https://doi.org/10.1093/jhered/esg002>
- Wilbe, M., & Andersson, G. (2012). MHC class II is an important genetic risk factor for canine systemic lupus erythematosus (SLE)-related disease: Implications for reproductive success. *Reproduction in Domestic Animals*, 47(Suppl. 1), 27–30. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01962.x>

- Wilbe, M., Jokinen, P., Hermanrud, C., Kennedy, L. J., Strandberg, E., Hansson-Hamlin, H., Lohi, H., & Andersson, G. (2009). MHC class II polymorphism is associated with a canine SLE-related disease complex. *Immunogenetics*, 61, 557–564. <https://doi.org/10.1007/s00251-009-0387-6>
- Wilbe, M., Sundberg, K., Hansen, I. R., Strandberg, E., Nachreiner, R. F., Hedhammar, Å., Kennedy, L. J., Andersson, G., & Björnerfeldt, S. (2010). Increased genetic risk or protection for canine autoimmune lymphocytic thyroiditis in Giant Schnauzers depends on DLA class II genotype. *Tissue Antigens*, 75(6), 712–719. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0039.2010.01449.x>
- Williams, D. L. (2005). Major histocompatibility class II expression in the normal canine cornea and in canine chronic superficial keratitis. *Veterinary Ophthalmology*, 8(6), 395–400. <https://doi.org/10.1111/j.1463-5224.2005.00412.x>
- Wohlsein, J. C., & Tipold, A. (2023). Steroid-responsive meningitis-arteritis: What have we learned since 2010? A narrative review. *The Veterinary Journal*, 300–302, 106030. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2023.106030>
- Yang, X. X., Pan, H. Z., Li, P. Y., Li, F. X., Xu, W. W., Wu, Y. S., Yao, G. Y., & Li, M. (2011). HLA class II variants in Chinese breast cancer patients. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 12(11), 3075–3079.
- Zhou, Y., Sun, W., Qin, Z., Guo, S., Kang, Y., Zeng, S., & Yu, L. (2020). LncRNA regulation: New border in epigenetic solutions to drug chemoresistance. *Biochemical Pharmacology*, 189, 114228. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114228>
- Zhou, M., & Ouyang, W. (2003). The functional role of GATA-3 in Th1 and Th2 differentiation. *Immunologic Research*, 28, 25–37. <https://doi.org/10.1385/IR:28:1:25>



# La nueva geopolítica de la alimentación: políticas para una autonomía resiliente<sup>1</sup>

Adriana Moreno Blanco<sup>2</sup>

El informe publicado por el Panel Internacional de Expertos en Sistemas Alimentarios Sostenibles (IPES-Food) en marzo del 2026, financiado por la Rosa-Luxemburg-Stifting realiza un análisis de como la configuración geopolítica desestabiliza los sistemas alimentarios globales. Este documento se estructura en tres secciones que van desde el diagnóstico que describe cuales son los factores que configuran la nueva geopolítica de la alimentación y cuales son sus efectos en la seguridad alimentaria; en segunda instancia se presentan las herramientas de gestión de mercado, sus bases históricas, algunos casos y las críticas que enfrentan, y finalmente integra el concepto de autonomía resiliente en el análisis y propone opciones de política, cerrando con conclusiones y una presentación del IPES-Food.

El panorama internacional se ha visto marcado desde inicios del 2025 por una serie de hechos que han generado tensiones tanto comerciales como militares que han incidido en el mapa agrícola mundial. En un año, Estados Unidos ha multiplicado sus aranceles alcanzando niveles nunca antes vistos desde la Gran Depresión, con medidas aplastantes como el impuesto de 50 por ciento a las exportaciones provenientes de Brasil y la respuesta casi inmediata de China sancionando a la soya americana.

A estas disputas económicas se entrelazan conflictos militares que cierran corredores vitales: La guerra en Ucrania que ha detenido significativamente las exportaciones de granos básicos como trigo, maíz y de girasol, generando un vacío en los mercados internacionales. Y a la par la creciente tensión entre Israel e Irán, que mantiene en riesgo las condiciones de seguridad del estrecho de Ormuz, corredor marítimo por el que transita una proporción importante de fertilizantes y minerales críticos para la agricultura mundial.

Los recortes en los compromisos internacionales de potencias como Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Suecia, Finlandia, Francia y Canada que han debilitado los mecanismos de cooperación global, impactando a organismos multilaterales como la ONU, la OMC,

<sup>1</sup> IPES-Food. (2026). La nueva geopolítica de la alimentación: políticas para una autonomía resiliente. IPES-Food.

<sup>2</sup> Consultora internacional. Correo electrónico: aymorenoblanco@gmail.com

minimizando su capacidad de acción; factores que se traducen en fragmentación del panorama global, debida a la pérdida de cohesión entre las redes internacionales, vulnerabilidad en las rutas comerciales e impacto en la gobernanza mundial.

El informe alerta también sobre las crecientes presiones en la seguridad alimentaria; con precios de los alimentos 35% arriba de los niveles reportados en 2019, con marcados episodios de inflación con niveles de hasta 30 por ciento en países de bajos ingresos desde el 2023. Entre mayo – agosto del 2025 la inflación alimentaria superó 5% en casi la mitad de los países de bajos ingresos frente a, solo uno de cada 5 países de ingresos altos según datos del Banco Mundial.

El gasto mundial en importación de alimentos alcanzó 2.2 billones de dólares. En países menos desarrollados las compras externas incrementaron de 41,000 a 59,400 millones entre el 2020 - 2024, y en los países en desarrollo importadores netos de alimentos el aumento fue de 108,000 a 155,900 millones para el mismo periodo. Este incremento en la deuda, está vinculado directamente a la ascendente concentración del sector agroindustrial. Las corporaciones dominantes de semillas y agroquímicos, se redujeron de 6 a 4, consolidando mas el mercado; Kroger y Nutrien reconocieron que fijaron sus precios por encima de los costos de producción, acrecentando la presión sobre los sistemas alimentarios y recalcando las distorsiones en los mercados internacionales.

En este contexto, el informe subraya la relevancia histórica de las reservas públicas de alimentos, concebidas como sistemas que integran tres funciones esenciales: la compra estratégica de productos, su almacenamiento y la liberación regulada mediante subastas o distribución directa. Estas herramientas de política pública, utilizadas desde tiempos antiguos –desde la dinastía Han en China hasta la República romana– fueron en gran medida

desmanteladas en el Sur global durante las décadas de 1980 y 1990, como resultado de los programas de ajuste estructural promovidos por el Banco Mundial y el FMI. Dichos esquemas podían funcionar tanto como reservas de emergencia así como mecanismos de estabilización, al establecer precios mínimos y máximos para proteger el mercado interno.

Se presentan como ejemplo de las dos dimensiones de reservas públicas a la Corporación Alimentaria de India fundada en 1965, tras la hambruna de Bengala en 1943, garantizando a los hogares más pobres, 35 kg de cereales al mes a precios subsidiados a través de su Sistema de Distribución Pública Dirigida, iniciando en 1997 con un presupuesto anual aproximado de 24 mil millones de dólares; no obstante en el informe se reconoce que 30% de las 20 millones de TM distribuidas anualmente no llega a los beneficiarios y prevalece 12 por ciento de desnutrición crónica –alrededor de 174 millones de personas– sin embargo sin este programa contra el hambre la situación sería peor.

En África Occidental, la Reserva Regional de Seguridad Alimentaria de la CEDEAO enfrenta desafíos fiscales, de infraestructura y de gobernanza, derivados de una gestión deficiente, de la intromisión política y, sobre todo, la dependencia de financiamiento externo que desvincula las prioridades regionales de las agendas de los donantes. El informe también advierte un riesgo de fragmentación: que con la salida de Burkina Faso, Malí y Níger de la CEDEAO en enero de 2025, hay un serio riesgo de fragmentación, al excluir del bloque a países que concentraban más de la mitad de las reservas alimentarias regionales, lo que incrementa la vulnerabilidad y podría profundizar la crisis.

En Canadá y Noruega, los sistemas de gestión de la oferta en los sectores lácteo y avícola han permitido mantener ingresos estables para los productores, en contraste con la Unión Europea, donde la eliminación de las cuotas

lácteas en 2015 antecedió la crisis del sector entre 2014 y 2016. No obstante, el informe también señala críticas a estos esquemas: en Canadá, la gestión de la oferta representa un costo anual estimado de 444 dólares canadienses por hogar, mientras que en Noruega los consumidores pagan, según la OCDE, un 51 por ciento más por los productos lácteos que en el resto de Escandinavia.

El informe también menciona las limitaciones que los acuerdos comerciales internacionales impone a estos instrumentos. Destaca que, durante la segunda administración de Trump, tanto la gestión de la oferta láctea de Canadá como las reservas públicas de cereales de India fueron utilizadas como elementos de negociación –como moneda de cambio– en acuerdos comerciales. Asimismo, señala que el Acuerdo sobre la Agricultura de la OMC, ofrece un margen reducido para otorgar un trato diferenciado a productos sensibles; sin embargo, las distorsiones derivadas de los precios fijados por los gobiernos han generado disputas comerciales que aún permanecen sin resolver.

El informe acentúa tres aportes centrales:

1. La elaboración de un diagnóstico geopolítico integrado, que conecta fenómenos aparentemente dispersos –aranceles, conflictos bélicos, recortes en cooperación internacional y debilitamiento de instituciones multilaterales– bajo una lógica explicativa común, en lugar de tratarlos como hechos aislados.
2. La relevancia de recuperar instrumentos de política pública relegados por el neoliberalismo de los años ochenta, sustentada en ejemplos concretos y no únicamente en argumentos normativos.
3. La incorporación del concepto de *autonomía resiliente*, basado en principios de solidaridad, equidad, diversidad y agencia, concebido como

una categoría intermedia entre la plena integración a los mercados globales y la desconexión, en diálogo con las estructuras o marcos normativos de soberanía alimentaria impulsados por los movimientos campesinos.

En el informe se identifican también limitaciones: no se logra equilibrar el diagnóstico versus las soluciones propuestas, se explica cómo el poder de bloques como Estados Unidos y China, pueden redefinir unilateralmente las reglas del comercio agrícola. Se plantea que la cooperación regional y las alianzas entre países con intereses afines, puede ser la respuesta principal, sin mencionar cuál es su capacidad real para hacerle contrapeso a esas asimetrías.

En segundo lugar, se da por sentado que los países con mayor deuda –los que necesitan más avances en términos de autonomía resiliente– deben recibir un alivio de la deuda como requerimiento previo. Sin embargo, no se menciona qué mecanismos o actores podrían asegurar esto en un contexto global de recortes generalizados a la cooperación internacional.

Finalmente aunque el informe documenta los fallos en los programas de existencias públicas (corrupción, financiamiento insuficiente), no distingue si los problemas son típicos del instrumento de política o son producto de un diseño institucional deficiente, aspectos clave para quienes deban decidir sobre su implementación.

Definitivamente, el informe es un aporte relevante para redefinir la gobernanza de los sistemas alimentarios ante un escenario creciente de inestabilidad geopolítica. Su utilidad se puede delimitar en tres ejes:

1. Para la formulación de políticas públicas, sistematizando experiencias nacionales de gestión de mercados, que pueden ser referentes en otros contextos.

2. En el trabajo de los movimientos sociales y organizaciones campesinas, al brindar evidencia comprobable a las demandas de soberanía alimentaria que se han sostenido históricamente.
3. En el ámbito académico, incorporando la *autonomía resiliente* como marco conceptual que vincula la gestión de mercado con principios de equidad y sostenibilidad.

Su principal contribución es demostrar con evidencias y no solo argumentos normativos, que todas las decisiones sobre almacenamiento, distribución y comercialización de alimentos siempre están influenciadas por diferentes consideraciones políticas.

El informe, elaborado por el Panel Internacional de Expertos en Sistemas Alimentarios Sostenibles (IPES-Food), financiado por la Rosa-Luxemburg-Stiftung y publicado en marzo de 2026, ofrece un análisis sobre cómo la reconfiguración geopolítica actual está desestabilizando los sistemas alimentarios globales. Examina el papel de las herramientas de gestión de mercado –principalmente las existencias públicas de alimentos y los sistemas de gestión de la oferta– en el fortalecimiento de la autonomía de los sistemas alimentarios nacionales. El trabajo, liderado por Jennifer Clapp junto con su equipo de investigación y el grupo de trabajo de IPES-Food copresidido por Olivier De Schutter y Lim Li Ching, combina este diagnóstico geopolítico con estudios de caso en India, África Occidental, Canadá y Noruega.

# El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2025

Hacer frente a la inflación alta de los precios de los alimentos en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición<sup>1</sup>

Adolfo Gpe. Álvarez Macías<sup>2</sup>

En esta reseña se analiza el informe *El Estado de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición en el Mundo 2025* (SOFI 2025), que año con año coeditan la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (FIDA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa Mundial de Alimentos (PMA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNICEF). El subtítulo es por demás sugerente: *Hacer frente a la inflación alta de los precios de los alimentos en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición*. Esto pone de relieve cómo los conflictos internacionales y los efectos del cambio climático han influido tanto en la disponibilidad y accesibilidad de alimentos para los diferentes países y, dentro de ellos, para los grupos socioeconómicos más desfavorecidos.

¿Puede un informe de política global orientar a un productor agrícola de ingresos bajos a entender por qué la caja de jitomate que vende le alcanza cada vez menos para comprar una canasta alimentaria diversificada? La respuesta, que sorprende, es afirmativa, ya que se trata de un texto analítico sobre cómo la inflación prolongada de los precios de los alimentos opera como una barrera macroeconómica que menoscaba sistemáticamente la capacidad de las personas –y de los campesinos, en específico– de más bajos ingresos para acceder a dietas balanceadas.

El informe se publica en una coyuntura histórica que no admite complacencia. La Agenda 2030 está a cinco años de su horizonte y el ODS 2, que compromete a la comunidad internacional con el Hambre Cero, acusa un rezago estructural preocupante. El informe marca con precisión los dos objetivos primarios de la Agenda: la meta 2.1, que busca garantizar el acceso permanente de todas las personas a alimentos sanos, nutritivos y suficientes; y la meta 2.2, que exige eliminar toda forma de malnutrición. Para ambas metas, el diagnóstico de la edición 2025 es contundente y dramático: el mundo no avanza por la ruta correcta.

El eje central de esta edición es el análisis de cómo la inflación macroeconómica contrae el presupuesto de los

<sup>1</sup> FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2025). <https://doi.org/10.4060/cd6008es>

<sup>2</sup> Profesor-investigador, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Correo electrónico: aalvarez@correo.xoc.uam.mx

hogares vulnerables y convierte el acceso a una dieta saludable en un privilegio, no en un derecho. Desde esa perspectiva, se ofrece una guía de política económica concreta para que los Estados transiten de medidas de emergencia –reactivas y frecuentemente distorsionantes– hacia inversiones estructurales de largo plazo. La fortaleza analítica de este *Informe 2025* reside en la combinación de indicadores macroestadísticos de disponibilidad de alimentos con escalas de percepción directa a nivel de hogar, lo que permite capturar simultáneamente dos dimensiones que a menudo se confunden: cuántos alimentos están disponibles en un país y cuántas personas pueden adquirirlos.

En cuanto a la prevalencia de la subalimentación, es un indicador macroeconómico y demográfico. Mide la probabilidad estadística de que una persona seleccionada al azar dentro de una población consuma de manera habitual menos energía alimentaria de la que necesita para mantener un estado de salud y actividad básico. Para su estimación, el modelo integra la disponibilidad nacional de alimentos –derivada de las Hojas de Balance de la FAO– con parámetros de distribución del consumo calórico contruidos a partir de encuestas de ingresos y gastos de los hogares. El resultado es un indicador que sintetiza en un solo número la desigualdad interna en el acceso a los alimentos. Cabe resaltar que este indicador mide la condición estructural de escasez crónica de energía en una población. La distinción crítica se entiende al comparar dos países con la misma disponibilidad per cápita de alimentos pero que pueden tener prevalencias de subalimentación radicalmente distintas si uno favorece ese acceso de forma más igualitaria que el otro.

En cuanto a la escala de experiencias de inseguridad alimentaria (FIES), se trata de una medición directa que capta la severidad de las restricciones de acceso a los alimentos desde la percepción de las propias personas afectadas. A través de un cuestionario, la FIES clasifica a la

población en tres niveles operativos: seguridad alimentaria o inseguridad leve; inseguridad alimentaria moderada –cuando las personas reducen la calidad o variedad de su dieta o enfrentan incertidumbre sobre su disponibilidad– e inseguridad alimentaria grave, cuando las personas se quedan sin alimentos, experimentan hambre manifiesta y pasan días sin ingerir calorías suficientes.

La combinación de ambos indicadores anteriores resulta fundamental con respecto a la experiencia vivida. Un sistema agroalimentario puede producir suficientes calorías para alimentar a su población y, al mismo tiempo, tener millones de hogares que reportan inseguridad alimentaria grave porque no tienen el ingreso suficiente para comprar esos alimentos.

Los datos procesados hasta 2024 contenidos en este informe muestran una dinámica de estabilización precaria y profundamente asimétrica tras el colapso sistémico observado en el trienio 2019-2021. A escala global, la prevalencia de la subalimentación registró ligeras reducciones marginales, lo que confirma que las iniciativas de recuperación económica tuvieron impactos positivos en regiones de ingresos medios. Sin embargo, las cifras absolutas siguen siendo inaceptables: cientos de millones de personas continúan padeciendo hambre crónica, situando al mundo en una trayectoria de incumplimiento del mandato de Hambre Cero para 2030. Los promedios globales ocultan divergencias geográficas que reflejan las profundas asimetrías fiscales y estructurales entre continentes, como se aprecia a continuación.

- **América Latina y el Caribe:** Representa el caso de éxito más sobresaliente del Informe. La consolidación de redes de protección social, transferencias monetarias condicionadas y una estabilización macroeconómica relativamente rápida después de la pandemia permitieron una reducción significa-

tiva en la prevalencia de la inseguridad alimentaria moderada o grave, atribuida fundamentalmente a mejoras en América del Sur. Este avance no fue espontáneo sino el resultado de decisiones deliberadas de política pública sostenidas en el tiempo.

- **África:** Se consolida como la región con la crisis alimentaria estructural más aguda en el mundo. El hambre siguió incrementándose de manera persistente en la mayoría de sus subregiones, impulsada por conflictos internos devastadores —particularmente en Sudán y la República Democrática del Congo— y por choques climáticos extremos. Para 2024, aproximadamente dos tercios de la población africana se encontraban en situación de inaccesibilidad total de dietas saludables, más del doble del promedio global. El número de personas en esa vulnerabilidad extrema rebasó 71 millones entre 2022 y 2024, una cifra que supera la población de varios países de la región.
- **Asia:** Muestra un comportamiento dual. Asia meridional y sudoriental documentaron avances consistentes en el acceso alimentario, especialmente en sus nodos urbanos, gracias al dinamismo comercial y a programas de subsidios debidamente diseñados. En contraste, Asia occidental sufrió deterioros notables atribuibles a tensiones geopolíticas, la decadencia de infraestructura agrícola local y la inflación galopante en mercados domésticos.

En lo que respecta al análisis territorial se muestra que la reducción de la inseguridad alimentaria se concentró en las áreas urbanas globales, mientras que las poblaciones rurales y periurbanas permanecieron estancadas. Esto evidencia el aislamiento de los pequeños productores agrícolas frente a los flujos formales de distribución y su alta vulnerabilidad ante pérdidas de cosechas e incrementos en los costos de insumos. En términos prácticos, hay una

paradoja recurrente: la persona que produce alimentos es frecuentemente quien tiene menor acceso a una dieta diversificada. En materia de género, la brecha en la seguridad alimentaria reportó un aumento en 2024, con una prevalencia de inseguridad alimentaria sistemáticamente más alta entre las mujeres adultas que entre los hombres en todas las regiones evaluadas. Esto no es un accidente, más bien refleja asimetrías estructurales de ingresos, falta de acceso a la propiedad de la tierra y desprotección en el mercado laboral informal.

Una de las aportaciones más trascendentales del Informe reside en la actualización del costo y del índice de accesibilidad a las dietas saludables a nivel global. La noción contemporánea de seguridad alimentaria va mucho más allá de la provisión calórica mínima —granos básicos que llenen el estómago— y exige acceso económico diario a una combinación equilibrada de seis grupos de alimentos: básicos amiláceos, vegetales ricos en proteínas como leguminosas y frutos secos, productos lácteos, carnes, pescados y huevos, hortalizas y frutas. Los análisis confirman que el costo medio de esa dieta saludable escaló en paralelo a la inflación macroeconómica global. Aunque la proporción porcentual de personas incapaces de costearla mostró un ligero descenso entre 2020 y 2024 debido a la recuperación de ingresos nominales en algunas regiones, la cifra absoluta continúa siendo inadmisiblemente: miles de millones de personas carecen de la liquidez financiera mínima para conseguir alimentos con alta densidad de nutrientes. Cuando el análisis excluye mercados gigantescos como la India —que implementó programas masivos de subsidios alimentarios directos—, la tendencia en el agregado de los países de ingresos medianos bajos es ascendente en cuanto al volumen de personas marginadas del acceso a dietas saludables. En el siguiente cuadro se propone un resumen a este respecto.

Tendencia de países de ingresos medios bajos con personas sin acceso a dietas saludables

| Región Geográfica          | Prevalencia de Inaccesibilidad (2024)           | Dinámica Absoluta                               | Factores Asociados                                         |
|----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| África                     | ~66.6% (dos tercios de la población)            | +71.2 M personas que en 2022 (total: 1,008.9 M) | Conflictos armados, depreciación cambiaria, sequías        |
| Asia                       | < 28.1% (ligeramente menor al promedio mundial) | Reducción neta por subsidios en India           | Mejora urbana compensada por retrocesos en Asia occidental |
| América Latina y el Caribe | ~27.4% (por debajo del promedio global)         | Estabilización neta con caídas en Sudamérica    | Expansión de transferencias monetarias y protección social |
| Oceanía                    | 19.6% de la población total                     | Incrementos leves en microestados insulares     | Altos costos logísticos de transporte e importación        |
| América Septentrional      | 5.0% de la población total                      | Estable; afecta a deciles de pobreza extrema    | Inflación urbana compensada por salarios nominales altos   |

Fuente: FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2025.

El Informe también examina el progreso global en relación con los siete indicadores de nutrición vinculados a las metas mundiales de salud pública. El diagnóstico es claro en su formulación: la mayoría de los países no cuenta con información estadística suficiente o, peor aún, se encuentra completamente fuera de la trayectoria necesaria para alcanzar los compromisos fijados para 2030. La ausencia de datos traduce la opacidad que oculta frecuentemente los peores resultados.

El comportamiento de los indicadores antropométricos en la primera infancia muestra resultados diversos pero insuficientes en velocidad de cambio.

- **Retraso del crecimiento (*stunting*):** Refleja fallas persistentes en salud, saneamiento y alimentación materna. La tasa global mantiene una tendencia de-

scendente, pero la velocidad de reducción es excesivamente lenta para alcanzar las metas internacionales, lo que condena a millones de infantes a mermas irreversibles en su desarrollo cognitivo y metabólico.

- **Emaciación infantil (*wasting*):** Condición de desnutrición aguda severa que pone en riesgo inmediato la supervivencia del menor. De los países con bases de datos actualizadas, aproximadamente el 56% avanza de forma satisfactoria en la trayectoria de reducción. Sin embargo, la brecha de monitoreo es crítica, 63 de 195 países carecen de encuestas antropométricas periódicas, un vacío que dificulta la intervención humanitaria urgente.

- **Bajo peso al nacer:** Destaca el parámetro nutricional infantil con el menor porcentaje de países en trayectoria de cumplimiento. Revela las deficiencias calóricas y de micronutrientes crónicas sufridas por mujeres gestantes, directamente vinculadas a la anemia y a la inaccesibilidad de alimentos frescos de calidad.

Apenas un tercio de los niños de entre 6 y 23 meses en todo el mundo alcanza el umbral de la diversidad alimentaria mínima. Por ende, dos de cada tres niños en la fase crítica de ablactación<sup>3</sup> son alimentados de forma monótona, dependiente de carbohidratos simples y carente de los micronutrientes esenciales para el desarrollo neurológico. En contraste, aproximadamente dos tercios de las mujeres en edad reproductiva logran cubrir ese requerimiento a escala global, aunque la cifra se reduce drásticamente al desagregar los datos en zonas rurales de bajos ingresos.

En contraste, la malnutrición por exceso –sobrepeso infantil y obesidad en adultos– se consolida como una epidemia que coexiste de forma paradójica con el hambre crónica. Este fenómeno de doble carga nutricional no es una contradicción; ante incrementos pronunciados en los precios de los alimentos frescos, las familias vulnerables responden de manera racionalmente comprensible, sacrificando la densidad nutricional y migran hacia el consumo de calorías baratas, densas en energía, sodio y azúcares simples, típicas de los alimentos ultraprocesados.

El núcleo analítico de este Informe es la deconstrucción macroeconómica de la tormenta que propulsó la inflación de los precios de los alimentos entre finales de

2020 y su cénit en enero de 2023. La escalada inflacionaria no respondió a un solo factor aislado, sino a un acoplamiento sistémico de perturbaciones globales y locales que se reforzaron mutuamente, destacando las siguientes:

- **Perturbaciones de costos en productos básicos e insumos:** La reactivación asimétrica tras la COVID-19 generó cuellos de botella masivos en las redes logísticas mundiales, disparando los costos de fletes marítimos. El conflicto entre Rusia y Ucrania –dos de los productores más relevantes de cereales (trigo, maíz) y fertilizantes nitrogenados y potásicos– operó como un choque de oferta que elevó de forma inmediata el costo marginal de producción agrícola en todo el mundo.
- **Asimetrías cambiarias y política monetaria:** La respuesta de la Reserva Federal de los Estados Unidos ante la inflación interna implicó incrementos en tasas de interés, lo que indujo una apreciación generalizada del dólar. Dado que los bienes agroalimentarios básicos y la energía se cotizan internacionalmente en dólares, las naciones en desarrollo sufrieron una inflación importada de doble vía: compraban más caro en dólares y convertían esos precios a monedas locales que se depreciaban simultáneamente. Cuando los precios internacionales de los granos comenzaron a descender a finales de 2023, las monedas locales debilitadas impidieron que ese alivio llegara a los consumidores domésticos.
- **Elasticidad de transmisión asimétrica:** Los análisis econométricos del informe demuestran que las fluctuaciones de precios internacionales tuvieron un traspaso significativamente superior e inmediato

<sup>3</sup> Proceso mediante el cual se introducen progresivamente alimentos sólidos o líquidos diferentes a la leche materna o de fórmula en la dieta del bebé, preparándolo para la dieta familiar.

en países importadores netos y en economías con estructuras de mercado interno altamente concentradas u oligopólicas. Es decir, los beneficios de los precios bajos no llegaron rápido, pero los incrementos sí.

Un hallazgo de primer orden es que la inflación afectó de manera heterogénea a las distintas categorías de alimentos. Los básicos amiláceos —arroz, maíz, trigo, tubérculos— han mantenido históricamente un costo inferior al de los grupos ricos en micronutrientes: hortalizas frescas, frutas y proteínas de origen animal. Durante el choque inflacionario, los alimentos de alta densidad nutricional registraron incrementos de precio relativos más pronunciados y volátiles que los carbohidratos básicos. Lo anterior consolida una paradoja de mercado que tiene consecuencias graves para la política de salud pública: los alimentos ultraprocesados resultaron ser significativamente más asequibles y estables ante los choques inflacionarios que sus alternativas frescas. Las corporaciones agroindustriales multinacionales poseen economías de escala masivas, contratos de cobertura financiera a largo plazo y cadenas de suministro diversificadas que les permiten absorber choques temporales de costos y mantener precios relativamente bajos en productos de larga vida de anaquel. El consumidor de bajos ingresos, atrapado en la contracción de su salario real, responde de forma racionalmente comprensible desde la óptica de la supervivencia económica: maximiza la compra de calorías baratas por unidad monetaria, sacrificando inevitablemente su salud metabólica. Casos como México, Nigeria y Pakistán documentados en el informe muestran que este patrón de sustitución no es marginal, más bien ha resultado masivo y sistemático.

El Informe procedió a una auditoría sin precedentes sobre la efectividad real de las políticas públicas

fiscales, monetarias y comerciales instrumentadas por los gobiernos para enfrentar la crisis inflacionaria. El análisis cubre más de 10,000 registros normativos en 153 países soberanos. La conclusión central es categórica: ante choques de precios idénticos en el mercado internacional, los países obtuvieron trayectorias de seguridad alimentaria radicalmente divergentes en función de la calidad, la coordinación y la oportunidad de sus respuestas internas.

El Informe clasifica las herramientas gubernamentales en función de su eficiencia económica y su impacto social de largo plazo:

- **Subsidios generalizados y controles de precios de emergencia:** Los países con inseguridad alimentaria de base media-alta recurrieron preferentemente a la imposición de controles de precios obligatorios y a subsidios generalizados a la producción. Si bien estas intervenciones proporcionaron un alivio inmediato, su mantenimiento prolongado desincentivó la oferta de los productores locales, fomentaron mercados negros y drenaron el espacio fiscal de los gobiernos precisamente cuando se necesitaba inversión en infraestructura pública.
- **Estrategias comerciales reactivas descoordinadas:** Se detectó un patrón adverso en naciones de ingresos medianos bajos donde la liberalización abrupta de aranceles de importación coincidió con deterioros profundos en la seguridad alimentaria a largo plazo. Estas medidas desestabilizaron los precios al productor local sin garantizar una reducción real y permanente de precios para el consumidor final, evidenciando fallas de transmisión en cadenas de intermediación oligopólicas.

- **Políticas de comercio estable y competencia activa:** En contraste, las naciones que lograron mantener o mejorar sus indicadores de seguridad alimentaria combinaron acuerdos de libre comercio estables, exenciones arancelarias previsibles y una fiscalización estricta de las políticas de competencia de mercado para evitar especulación y colusión en los márgenes de la distribución alimentaria. La transparencia resultó ser tanto o más efectiva que los subsidios.

Un factor diferenciador crítico en esta crisis, comparada con la desastrosa crisis de precios agrícolas de 2007-2008, fue el. Plataformas globales como el Sistema de Información sobre el Mercado Agrícola (AMIS, por sus siglas en inglés) permitieron una monitorización en tiempo real de las existencias de cereales, desactivando olas especulativas y evitando que los países aplicaran prohibiciones generalizadas de exportación que habrían estrangulado el comercio mundial.

A nivel nacional, el informe destaca innovaciones tecnológicas como la plataforma del Mercado Agrícola Nacional de la India (eNAM), que conectó digitalmente a los pequeños productores con compradores mayoristas nacionales en plena crisis, estabilizando precios y garantizando el flujo del suministro. El acceso masivo a internet y a la telefonía móvil facilitó la dispersión artificial de precios y optimizar el arbitraje de mercado en beneficio directo de las comunidades rurales más vulnerables. Al parecer la conectividad digital funciona como un bien público rural prioritario.

El Informe concluye con un mensaje de urgencia y pragmatismo económico simultáneos: erradicar el hambre y la malnutrición para 2030 exige abandonar definitivamente las intervenciones paliativas de emergencia y transitar hacia una reingeniería sistémica de las políticas agroalimentarias globales. No basta con expandir el vo-

lumen bruto de producción de alimentos. El imperativo ético y económico se orienta a transformar las cadenas de valor para garantizar la accesibilidad a dietas saludables con alta densidad nutricional para toda la humanidad. Para ello, en el Informe se propone cuatro ejes de acción vinculantes:

- **Sostenibilidad e inversión en resiliencia agrícola:** Los gobiernos deben reorientar presupuestos públicos hacia bienes públicos rurales esenciales: investigación y desarrollo para la adaptación climática, tecnificación del riego, infraestructura crítica de almacenamiento en frío para reducir pérdidas poscosecha y redes de transporte rural que conecten eficientemente a los pequeños productores con centros de consumo urbano.
- **Focalización rigurosa de la protección social:** Las transferencias monetarias y los subsidios alimentarios deben focalizarse en los hogares en pobreza extrema, mujeres gestantes y poblaciones en la primera infancia. Los subsidios generalizados suelen ser regresivos, fiscalmente insostenibles y diluyen el impacto social necesario para romper el ciclo intergeneracional de la desnutrición.
- **Gobernanza comercial y regulación de competencia:** Es imperativo consolidar un sistema de comercio internacional abierto y previsible, sin restricciones unilaterales de exportación sobre bienes alimentarios y fertilizantes clave. En paralelo, las agencias regulatorias nacionales deben intervenir en los mercados agroalimentarios para fiscalizar y desarticular prácticas oligopólicas que inflan artificialmente los precios al consumidor final.

- **Políticas fiscales nutricionales y entornos alimentarios saludables:** Los Estados deben implementar marcos impositivos de salud pública, aplicando impuestos selectivos a alimentos ultraprocesados y de baja densidad de nutrientes, canalizando esa recaudación hacia el subsidio y distribución prioritaria de alimentos frescos, verduras y leguminosas en escuelas y redes de protección social.

# Guía para autores

Los manuscritos que se presenten a esta Revista deben ser resultado de investigaciones de alto nivel académico, aportar conocimiento original, ser inéditos y de preferencia deben estar escritos en español.

## Lista de comprobación para la preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, los autores/as deben comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. De lo contrario, serán devueltos.

- ⇒ El envío no ha sido publicado previamente ni se ha sometido a consideración a ninguna otra revista (o se ha proporcionado una explicación al respecto en la postulación dirigida al editor/a).
- ⇒ Siempre que sea posible, se proporcionan direcciones URL y DOI's para las referencias.
- ⇒ En el texto se utilizará el procesador de Microsoft Word, con fuente Arial a 12 puntos, a 1.5 espacio. Se utiliza cursiva en lugar de subrayado (excepto en las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas se encuentran colocadas en los lugares apropiados del texto, en vez de al final.
- ⇒ El texto se adhiere a los requisitos estilísticos y bibliográficos resumidos en los siguientes principios editoriales.

## 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. Para ser considerados los artículos deben establecer claramente el argumento que van a sostener enmarcado en una discusión relevante en el campo o subcampos de estudio, establecer la metodología utilizada, presentar una discusión de la literatura existente orientada a enmarcar los aportes del estudio y presentar los resultados obtenidos en la investigación empírica de manera consistente con el argumento y el diseño metodológico.

La estructura básica de los artículos es la siguiente:

Introducción

Método de trabajo

Resultados

Discusión

Conclusiones e implicaciones

Para los artículos la extensión máxima es de ocho mil palabras (aproximadamente 30 cuartillas incluyendo cuadros, figuras, notas y bibliografía).

Las *Notas de investigación* contienen una descripción concisa y completa de una investigación limitada o con resultados significativos pero parciales. Debe estar completamente documentada por referencias bibliográficas y describir la metodología empleada como en un artículo de investigación. No deberá exceder las cuatro mil palabras (aproximadamente 15 cuartillas, incluyendo figuras, cuadros y referencias).

Los *Ensayos y revisiones bibliográficas* deben incluir un tema de interés actual y relevante. Pueden dar cuenta de discusiones teóricas y metodológicas relevantes en campos inherentes a la revista. Dado el énfasis en la discusión conceptual y metodológica no necesitan presentar evidencia empírica original. Para su consideración es importante que presenten de manera clara los aportes conceptuales y metodológicos que realizan al campo o subcampos en el que se inscriben. Estos trabajos no deben exceder las cinco mil palabras (aproximadamente 20 cuartillas incluyendo cuadros, figuras, notas y bibliografía).

Las *Reseñas de libros* tienen por objetivo la crítica de un texto publicado no más allá del año anterior al envío del manuscrito en cualquiera de las disciplinas que aborda la revista. Es importante destacar que en las reseñas se busca un análisis crítico de la obra revisada, así como su contextualización e identificación de los principales aportes. Las reseñas no deben exceder de dos mil caracteres (alrededor de seis 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 al (las, los) autor (as, es) para transferir el derecho de su artículo a la editorial.

Los trabajos para consideración pueden ser enviados en archivo electrónico. Se enviará en documento de Word como un archivo adjunto al correo electrónico [aalvarez@correo.xoc.uam.mx](mailto:aalvarez@correo.xoc.uam.mx). Mediante la misma vía se realizará el acuse de recibo.

## Archivo electrónico

Se enviará el trabajo en archivo digital, con cuatro márgenes de 2.5 centímetros. Las cuartillas deberán estar numeradas.

Preparación y consideraciones generales para el manuscrito:

1. El texto deberá ser escrito en español o inglés.
2. El texto deberá tener el siguiente orden:
  - Título (Claro, descriptivo y corto).
  - Nombre del (las, los) autor (as, es).
  - Teléfono, correo electrónico y fax del primer autor o autor de correspondencia para mantener comunicación con el Editor.
  - Dirección actual del (las, los) autor (as, es).
  - Resumen y 5 a 6 palabras claves (términos indexados).
  - Abstract and 5 to 6 keywords
  - Introducción.
  - Descripción del área, métodos y técnicas.
  - Resultados.
  - Discusión.
  - Conclusión.
  - Agradecimientos y reconocimientos. Siempre que corresponda, se reconocerán colaboraciones como a) ayuda técnica recibida; b) apoyo financiero y material, especificando la índole de este; c) las relaciones financieras que pudieran suscitar un conflicto de intereses. Las personas que colaboraron pueden ser citadas por su nombre,

añadiendo su función o tipo de colaboración. Siempre que corresponda, los autores deberán mencionar si existe algún conflicto de interés.

- Referencias.
- Cuadros.
- Mapas u otros anexos.

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. El título debe ser descriptivo en español e inglés, corresponder al contenido del artículo y tener una extensión máxima de 55 caracteres (alrededor de diez palabras).

La primera vez que aparezca una sigla o un acrónimo debe escribirse *in extenso* con el acrónimo o siglas entre paréntesis.

Se recomienda evitar el uso de palabras en idioma distinto al español y de neologismos innecesarios.

Si es inevitable emplear un término en lengua extranjera (por no existir una traducción apropiada), se debe anotar, entre paréntesis o como nota de pie de página, una breve explicación o traducción aproximada del término.

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. Es conveniente incluir en el resumen los objetivos, resultados más relevantes, así como las principales conclusiones.

## Abstract

Se trata de la traducción del resumen al inglés y, eventualmente, al francés. La calidad de las traducciones será responsabilidad exclusiva de las y los autores.

## 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).
2. Los cuadros se enumeran de acuerdo con su secuencia en el texto y en números arábigos. Se debe incluir la fuente en todos los cuadros.
3. Los cuadros se encontrarán insertos en el lugar previsto por las y los autores dentro 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 incluirse en el texto, 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 con el texto. Las referencias deben incluirse 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 carácter sea lo suficientemente grande para permitir una reducción del 50% sin volverse ilegible. Los caracteres deberán estar de preferencia en español, aunque se puede justificar su inclusión en inglés. Usar el mismo tipo de carácter 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. Pueden incluirse ilustraciones en color.

## Bibliografía

La bibliografía se incorpora al final del artículo, incluyendo en orden alfabético todas las obras citadas en el texto y en los pies de página. Los autores deben revisar cuidadosamente que no haya omisiones ni inconsistencias entre las obras referenciadas y la bibliografía. Se enlistará la obra de un mismo autor en orden descendente por fecha de publicación (2022, 2018, 2014, etcétera).

Se dará prioridad a los artículos enviados con la bibliografía gestionada electrónicamente, y presentada con la norma APA7 (<https://normas-apa.org/wp-content/uploads/Guia-Normas-APA-7ma-edicion.pdf>). Los autores podrán recurrir al uso de cualquier gestor disponible en el mercado (Reference Manager, Crossref o Mendeley entre otros), o de código abierto tal como Refworks o Zotero.

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 (2024) demostró que...”, “Esto coincide con resultados posteriores (Norman, 2025: 20-21)”.

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”.

Esta indicación, sin embargo, no deberá ser usada en la lista de referencias ni en itálicas.

Usar el siguiente sistema para indicar las referencias:

#### **a. De publicación periódica**

Castañeda Naranjo, L. A. y Palacios Neri, J. (2015). Nanotecnología: fuente de nuevos paradigmas. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 7(12), 45-49.

#### **b. Seminarios, Congresos, Simposios o Conferencias**

Sánchez, C., Ayala, D. y Bocarosa, E. (17-29 de noviembre de 2018). *La biodiversidad y la supervivencia humana en la tierra* [Discurso principal]. Conferencia de las Naciones Unidas, Sharm, El-Sheikh, Egipto.

#### **c. De libros**

##### **Libro impreso**

Apellido, N. (año). Título del trabajo. Editorial.

##### **Libro en línea**

Apellido, N. y Apellido, N. (año). Título del libro. Editorial. DOI o URL

##### **Libro con editor**

Apellido, N. (Ed.). (año). Título del trabajo. Editorial.

#### **d. De un capítulo en libro**

Muñoz, O. (1991). El proceso de industrialización: teorías, experiencias y políticas. En O. Sunkel (Comp.), *El desarrollo desde dentro* (pp. 184-206). Lecturas, núm. 71. Fondo de Cultura Económica.

#### d. Leyes y documentos legales

Ley 1060 de 2006. Por la cual se modifican las normas que regulan la impugnación de la paternidad y la maternidad. 26 de julio de 2006. D.O. No. 46341.

#### e. De tesis o disertaciones

Martínez Ribón, J. G. T. (2011) *Propuesta de metodología para la implementación de la filosofía Lean (construcción esbelta) en proyectos de construcción* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <http://bdigital.unal.edu.co/10578/>

#### f. Páginas web

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1 de octubre de 2018). *Nuevos datos revelan que en el mundo uno de cada tres adolescentes sufre acoso escolar*. <https://es.unesco.org/news/nuevos-datos-revelan-que-mundo-cada-tres-adolescentes-sufre-acoso-escolar>.

#### g. Archivo PDF

Rodríguez, R. (2019). *Una guía para combatir el Acoso escolar* [Archivo PDF]. <https://www.url.com>.  
Para otras opciones consultar: <https://normas-apa.org/wp-content/uploads/Guia-Normas-APA-7ma-edicion.pdf>.

### Fórmulas

1. Las fórmulas deberán ser escritas de acuerdo con 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 carácter O y entre el 1 y el carácter 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  $\text{Ca}^{2+}$  y no como  $\text{Ca}^{++}$ .

## 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 10 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, figuras 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.

De acuerdo con la legislación de derechos de autor, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* reconoce y respeta el derecho moral de los autores, así como la titularidad del derecho patrimonial, el cual será cedido a la revista para su difusión en acceso abierto. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* no realiza cargos monetarios a los autores por enviar y procesar artículos para su publicación.

Todos los textos publicados en la Revista, sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.

Para todo lo anterior, el o los autores (as) deben remitir el formato de Carta-Cesión de la Propiedad de los Derechos de la primera publicación debidamente requisitado y firmado por el autor(es). Este formato se

puede enviar por correo electrónico en archivo pdf al correo: aalvarez@correo.xoc.uam.mx (Carta-Cesión de Propiedad de Derechos de Autor).

### **Criterios de dictaminación y pruebas del formato del trabajo**

1. Una vez revisado, conforme a las políticas de la revista, cada texto será sometido para su dictamen por al menos a dos revisores miembros del Comité Editorial, quienes desconocerán el nombre e Institución de los autores proponentes. 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.
3. Los trabajos no aceptados para su publicación se regresarán al autor, con una exposición de los motivos por los que se rechaza o las modificaciones que deberán aplicarse para ser reevaluados.

### **Periodicidad**

Es una publicación semestral que aparece los meses de julio y diciembre de cada año.

### **Declaración de privacidad**

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros para su uso con otros fines.

*Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.*

Revista electrónica

Se terminó de formar en Julio de 2026