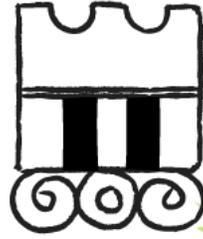


Sociedades rurales, producción y medio ambiente



ISSN 2528-2232

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



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

47

Diciembre-Julio
2024

Sociedades rurales, producción y medio ambiente

Sociedades rurales, producción y medio ambiente



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General
Dr. José Antonio de los Reyes Heredia

Secretaria General
Dra. Norma Rondero López

UNIDAD XOCHIMILCO

Rector
Dr. Francisco Javier Soria López

Secretaria
Dra. Ma. Angélica Buendía Espinosa

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Director
Dr. Luis Amado Ayala Pérez

Jefa del Depto. de Producción Agrícola y Animal
M. en S. Nora Rojas Serranía

Director de la revista
Adolfo Álvarez Macías

COMITE EDITORIAL

Ciencias Agrícolas
Dr. Carlos H. Ávila Bello
Centro de Estudios Interdisciplinarios de Agrobiodiversidad
(CEIABio)
Universidad Veracruzana

Dr. Rodolfo Figueroa Brito
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos
Instituto Politécnico Nacional

Dr. Daniel Ruiz Juárez
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Ciencias Pecuarias
Dr. Carlos Arriaga Jordán
Instituto de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural
Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. Luis Corona Gochi
Jefe del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Antonio Martínez García
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Calidad e Inocuidad de Productos Agroalimentarios
Dr. Arturo Camilo Escobar Medina
Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (Cuba)

Dr. Eduardo Morales Barrera, UAM-X
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Dra. Silvia D. Peña Betancourt
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Economía y Desarrollo Rural
Dra. Tamara Perelmuter
Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG)
Universidad de Buenos Aires

Acuicultura y Pesca
Dr. Iván Gallego Alarcón

Diseño y formación
D. C. G. Mary Carmen Martínez Santana

Corrección de estilo
D. C. G. Marbella Vianney Olmos Sánchez

SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Año 2024, número 47, diciembre-julio de 2024 es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, México, Ciudad de México, y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04960, México, Ciudad de México, Tel. 54837231 y 54837230.

Página electrónica de la revista:

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

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

Editor Responsable Profr. Adolfo Guadalupe Álvarez Macías.

Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2022-092811003900-102, ISSN 2007-7556, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número:

Mary Carmen Martínez Santana.

Fecha de la última modificación: 16 de septiembre de 2024.

Tamaño del archivo 4898 KB.

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

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

Suscripción anual (2 números)

México: \$220.00

Estados Unidos: \$50.00 USD

Centro América y Sudamérica: \$40.00 USD

Europa: \$60.00 USD

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

Índice

Editorial	9
Política de la revista	13
 ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
Estudio de la gestión de la innovación en huertas de aguacate en Morelos, México. Análisis de factores clave <i>Ruth Yessica Cruz Nieto, Sergio Roberto Márquez Berber y Gustavo Almaguer Vargas</i>	15
Análisis de los principales riesgos de la crisis de fertilizantes en Ecuador. Prioridades de acción e investigación <i>Claudia Coral y Robert Carcamo Mallen</i>	43
Evaluación de un material lignocelulósico como sustituto de tierra de monte en la producción de <i>Euphorbia pulcherrima</i> cv. “Prestige Red” <i>Mónica Ivonne Jaimes Yescas, Irving Hernández González y Antonio Flores Macías</i>	71
Uso de anillo de goma para la castración en bovinos: neurobiología del dolor, aspectos legales, éticos y etológicos <i>Daniel Mota Rojas, Agustín Orihuela, Adriana Domínguez Oliva, Pamela Anahí Lendez, Marcelo Ghezzi y Fabio Napolitano</i>	87

El descornado en bovinos: neurobiología del dolor y repercusiones conductuales
*Daniel Mota Rojas, Fabio Napolitano, Adolfo Álvarez Macías, Karina Lezama García,
Adriana Domínguez Oliva, Brenda Reyes Sotelo y Agustín Orihuela* **111**

**Evaluación de diversos factores relacionados con la cadena de frío para
el mantenimiento de vacunas en clínicas veterinarias de la Ciudad de México**
*Yolanda Margarita Sánchez Castilleja, Adrián Emmanuel Iglesias Reyes,
Román Espinosa Cervantes y María Isabel López López* **131**

RESEÑAS

Estado del clima en América Latina y el Caribe 2023
Erick Rodrigo Guevara Rojas **143**

**Crisis de precios internacionales e inseguridad alimentaria:
el caso de Centroamérica**
Adolfo Álvarez Macías **149**

Guía de autores **155**

Editorial

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

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

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

Por el contrario, existen opciones de abonar a las fortalezas y oportunidades que derivan del actual modelo de desarrollo, como las producciones y los mercados orgánicos, las tecnologías agroecológicas,

prácticas de conservación y restauración de los recursos naturales y fauna silvestre, economía del hogar y participación de la mujer en las actividades rurales, procesos asociativos innovadores y los nuevos hábitos de consumo, por mencionar algunos de los más relevantes. En este número se presentan ocho contribuciones que revelan el carácter multidisciplinario de la publicación. En el primer artículo se presenta un estudio sobre la zona aguacatera del estado de Morelos con el objetivo de analizar los factores clave que influyen en el rendimiento y centrándose en la dinámica de adopción de innovaciones y, con base en ello, proponer recomendaciones en el diseño de estrategias efectivas en la gestión de la innovación. Se estudió la dinámica de adopción de innovaciones y se procedió a un análisis de conglomerados que integró los resultados de la caracterización y el índice de adopción de innovaciones. Se concluyó sobre la importancia de intervenciones específicas y adaptadas para mejorar la gestión de innovación. En el segundo artículo se examinan los principales riesgos de la crisis de fertilizantes en Ecuador. En este artículo se caracteriza la crisis internacional de fertilizantes, destacando los principales riesgos de índole económico, social y político y, finalmente, se exponen las prioridades de acción e investigación necesarias para mitigar los efectos de esta crisis. En ese sentido se recalcan la importancia de diversificar las fuentes de suministro de fertilizantes, promover prácticas agrícolas sostenibles y fomentar la producción de bioinsumos como estrategias a largo plazo. También se destaca la necesaria colaboración entre sectores productivos y de investigación, como otra vía para abordar desafíos presentes y futuros en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental en Ecuador.

En la tercera contribución se propone un material lignocelulósico proveniente de residuos de poda y jardinería de la zona de Xochimilco, Ciudad de México como material orgánico sustituto del uso de tierra de monte en la mezcla de un sustrato utilizado en la producción de *Euphorbia pulcherrima* cv “Prestige Red”. Se evaluaron diferentes componentes de los sustratos empleados y se identificaron taxonómicamente los materiales verdes utilizados en la preparación del material lignocelulósico. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en las variables de crecimiento, por lo que se deduce que la utilización de cualquiera de las mezclas permitirá el desarrollo del cultivo con características de crecimiento iguales; por lo que se puede reemplazar la utilización de la tierra de monte contribuyendo a una menor degradación de las cubiertas de materia orgánica de los bosques. En el cuarto artículo, mediante una revisión bibliográfica, se analiza uno de los métodos más empleados y permitidos para castración de bovinos que es el uso de anillos de goma. Se le atribuyen ventajas como un método de bajo costo e indoloro, por lo cual es un procedimiento aceptado en normativas nacionales e internacionales, sin embargo, se han observado respuestas asociadas al dolor como alteraciones en el comportamiento y endocrinas. Entre las repercusiones de este procedimiento se registran aumentos en las concentraciones de cortisol plasmático, sustancia P y haptoglobina. Además de alteraciones en la postura como arqueamiento de la espalda y recumbencia lateral con extensión de los miembros pelvianos, que son cambios asociados al dolor. De igual manera, un aumento en la presentación de pisadas y

patadas y lamidos al área afectada. Por lo anterior, se requiere que las normativas consideren el dolor y sus eventuales consecuencias para diseñar medidas más eficientes.

En el quinto artículo se analiza el descornado y el desbotone en la producción bovina que, aunque son procedimientos rutinarios para reducir y/o evitar lesiones tanto al personal como a congéneres, su efectividad y métodos son cuestionados. Por ello, se contrastan las técnicas de descornado y desbotone en bovinos y sus posibles complicaciones, teniendo como eje la neurobiología del dolor y aspectos etológicos relevantes en torno a esta práctica. Se han reportado alteraciones fisiológicas como aumentos en las concentraciones de cortisol y alteraciones conductuales asociadas al dolor que provocan estas prácticas. Para atender estas respuestas conductuales se procede a bloqueos con anestésicos locales, los cuales son recomendados para mitigar el dolor y otras complicaciones. En la sexta contribución se evaluaron factores relacionados con la cadena de frío en 132 clínicas veterinarias de la Ciudad de México. Se detectó la predominancia de frigobares (50.76% de los casos). El 4.54% cuentan con un formato de registro de temperaturas y en un 45.46% termómetros, ubicados en el estante central del refrigerador. Las temperaturas estuvieron dentro del rango de 2 a 8° C en un 73.48% de los casos. Las vacunas, se observaron en los estantes centrales de los equipos en un 86.36% de las clínicas, guardando 2.5 cm de distancia entre ellas en un 63.63% de los casos estudiados. En general, la ubicación, el espacio entre los viales y el sistema de rotación de las vacunas en el interior es bien manejado por los médicos veterinarios. Es preciso contar con equipos que mantengan una temperatura constante, con termómetros preferentemente de máximas y mínimas, en un lugar que permita el registro diario. El contar con refrigerantes y botellas de agua dentro del equipo, así como hieleras, pueden contribuir a mantener la temperatura adecuada en caso de avería.

Finalmente, la séptima y octava contribuciones se enfocan a la reseña de dos textos que dan cuenta de problemáticas relevantes en el sistema agroalimentario latinoamericano y con repercusiones en México. En primera instancia, se trata del cuarto informe presentado por la Organización Mundial Meteorológica (OMM) en esta serie titulada *Estado del clima en América Latina y el Caribe*, correspondiente al año 2023. El segundo documento sintetizado es el de *Precios internacionales y seguridad alimentaria: Un análisis de la transmisión de los precios de los alimentos y fertilizantes en América Central*. Se trata de invitaciones a revisar con detalle dos documentos claves en la problemática regional de la agricultura, así como los desafíos adicionales a los cuales se enfrentan la mayoría de los agricultores de la región.

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

Adolfo Álvarez Macías
Director

Política de la revista

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

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

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

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

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

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

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

Adolfo Álvarez Macías, Director de la revista.

Edificio 34, tercer piso.

Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.

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

Tels. 555483-7230 y 7231.

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

Estudio de la gestión de la innovación en huertas de aguacate en Morelos, México.

Análisis de factores clave

Ruth Yessica Cruz Nieto¹, Sergio Roberto Márquez Berber²
y Gustavo Almaguer Vargas^{2*}

Resumen. *A pesar de que el estado de Morelos, México, cuenta con tradición y vocación en la producción de aguacate, la productividad es relativamente baja (8.79 t ha⁻¹); en comparación con el promedio nacional (9.83 t ha⁻¹). Este estudio se llevó a cabo en una zona aguacatera del estado de Morelos con el objetivo de analizar los factores clave que influyen significativamente en el rendimiento, centrándose en la dinámica de adopción de innovaciones y con base en ello, proponer recomendaciones en el diseño de estrategias efectivas en la gestión de la innovación.*

Se obtuvieron un total de 76 encuestas para caracterizar a los productores y sus huertas de producción. Se estudió la dinámica de adopción de innovaciones utilizando un catálogo dividido en nueve categorías; posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados que integró los resultados de la caracterización y el índice de adopción de innovaciones (INAI).

La experiencia de los productores sugiere un conocimiento profundo del cultivo, aunque la baja escolaridad puede limitar la adopción de innovaciones. El INAI con una tasa promedio del 48.41%, muestra una participación moderada en la mejora en las prácticas técnicas y ambientales. Las innovaciones relacionadas al riego, administración y financiamiento, organización, cosecha y comercialización se destacan por su fuerte asociación con el aumento de la producción por hectárea, sin embargo, son las que requieren mayores recursos y tienen impactos a mediano y largo plazo; destacando su importancia como factores clave en la mejora del rendimiento. El análisis de conglomerados ayudó a identificar tres grupos diferenciados de productores. Específicamente, el Grupo 3 se distingue por su alta innovación y considerable potencial productivo, inclusive, superando el rendimiento a nivel nacional (12.11 t.ha-1). Este hallazgo subraya la importancia de intervenciones específicas y adaptadas para mejorar la gestión de innovación.

¹ Estudiante de Posgrado, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial de la Universidad Autónoma de Chapingo.

² Profesor-investigador, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial de la Universidad Autónoma de Chapingo.

* Autor de correspondencia, e-mail: almaguervargas@hotmail.com

Palabras clave: *Aguate, Rendimiento, Innovación, Dinámica de innovación.*

Abstract. *Despite the state of Morelos, Mexico, having a tradition and vocation in avocado production, productivity is relatively low (8.79 t ha^{-1}) compared to the national average (9.83 t ha^{-1}). This study was conducted in an avocado-producing region of Morelos to analyze the key factors that significantly influence yield, focusing on the dynamics of innovation adoption and based on this analysis, to propose recommendations for designing effective innovation management strategies.*

A total of 76 surveys were collected to characterize the producers and their orchards. The dynamics of innovation adoption were studied using a catalog divided into nine categories. Subsequently, a cluster analysis was conducted, integrating the characterization results and the Innovation Adoption Index (INAI).

The producers' experience suggests a deep knowledge of cultivation, although low educational attainment may limit the adoption of innovations. The Innovation Adoption Index (INAI), with an average rate of 48.41%, indicates moderate participation in improving technical and environmental practices. Innovations related to irrigation, management and financing, organization, harvesting, and marketing are strongly associated with increased production per hectare. However, these innovations require substantial resources and have medium- to long-term impacts, highlighting their importance as key factors in yield improvement. The cluster analysis helped identify three distinct groups of producers. Specifically, Group 3 stands out for its high innovation and considerable production potential, even surpassing the national yield average (12.11 t ha^{-1}). This finding underscores the importance of specific and tailored interventions to enhance innovation management.

Keywords: *Avocado, Yield, Innovation, Dynamics of innovation.*

INTRODUCCIÓN

México se destaca como el líder mundial en la producción y exportación de aguacate (*Persea americana Mill*), representando más del 30% de la producción global. Además, contribuye con el 46% de las exportaciones en el mercado internacional, siendo Estados Unidos su principal destino (FAOSTAT, 2015).

En 2015 el estado de Morelos contribuyó con el 1.8% de la producción nacional de aguacate. Se tienen registradas aproximadamente 3,582 hectáreas dedicadas a la producción de este cultivo, generando 29.5 mil toneladas anuales y empleando a 7,512 pequeños productores. A pesar de haber sido el segundo mayor productor a nivel nacional en el año 2000, Morelos descendió al quinto lugar en 2015, según datos del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Morelos (CESVMOR, 2016) y del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

Con la finalidad de posicionar a Morelos como un estado productor importante, se determinó que es conveniente impulsar la innovación; numerosos estudios han demostrado que este proceso constituye un motor esencial para el crecimiento económico y la competitividad en países desarrollados (Radjou, 2004; Porter, 2007). Sin embargo, la sinergia entre ciencia y economía no surge de manera espontánea, para desencadenar procesos de innovación exitosos, es crucial gestionarlos de manera integral (Berumen, 2008). Además, es posible identificar diferencias sistemáticas en las características económicas, sociales, regionales y demográficas entre distintos grupos de adoptantes de innovaciones (Brown, 1981).

La Fundación COTEC (COTEC, 2007), señala que las empresas innovan principalmente para lograr un mayor éxito en el mercado y que estas innovaciones pueden ser cualquier tipo de transformación, no solo tecnológica, fundamentada en conocimientos, que no solo se limitan al ámbito científico, y que aporten valor más allá del ámbito económico. Un análisis comparativo del rendimiento e ingresos en el sector, basado en datos del Servicio de Información Agroalimentario y Pesquero (SIAP, 2020) correspondientes al periodo 2010-2015 revela que el rendimiento promedio de aguacate a nivel nacional fue de 9.83 t ha^{-1} , con un precio medio rural de \$13,233.59 MXN por tonelada. En contraste, el estado de Morelos registró un menor rendimiento de 8.79 t ha^{-1} , y un precio medio rural también menor de \$10,092.67 MXN por tonelada; esto indica que los productores de aguacate de Morelos tienen un 31.78% menos de ingresos en comparación con el promedio nacional.

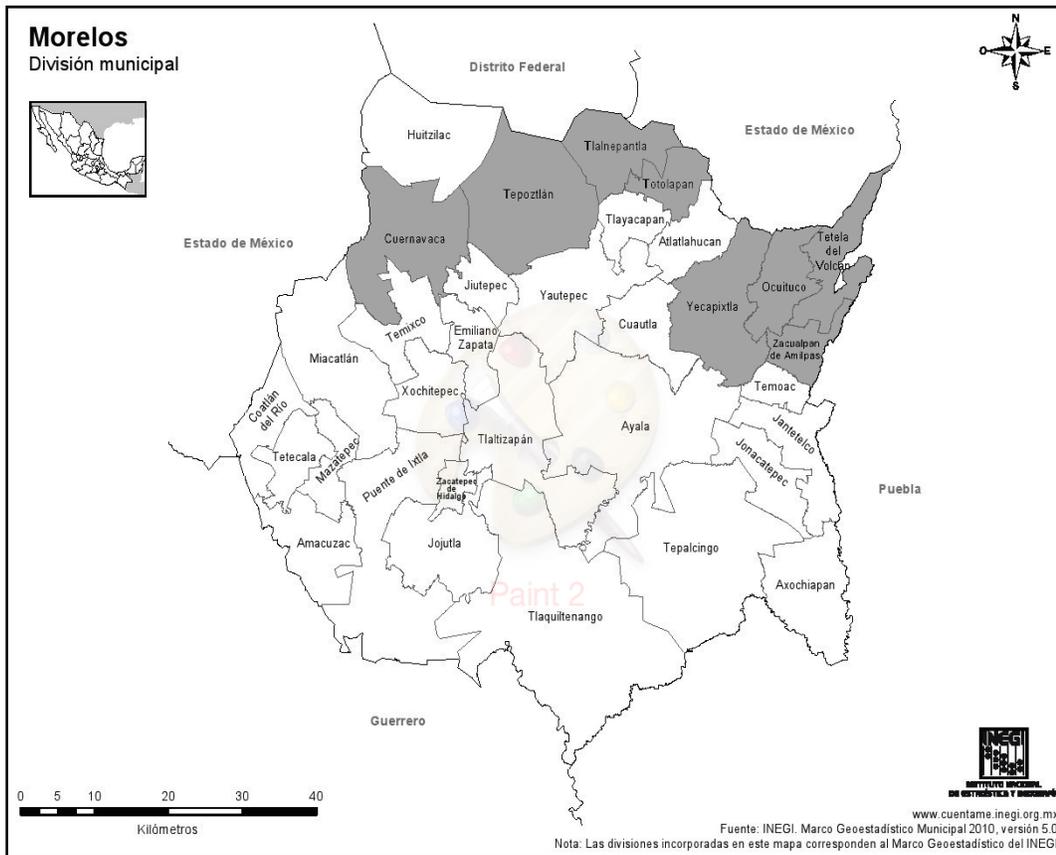
Por todo lo anterior, el propósito de esta investigación es analizar los factores clave que influyen en la producción por hectárea de aguacate, centrándose en la dinámica de adopción de innovaciones, para proponer recomendaciones en el diseño de estrategias en la gestión de la innovación, para mejorar significativamente el rendimiento de huertas de aguacate en el estado de Morelos, México.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA, MÉTODOS Y TÉCNICAS

Área de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la zona aguacatera del estado de Morelos, abarcando los municipios principales en términos de superficie y producción, que incluyen Cuernavaca, Ocuituco, Tepoztlán, Tetela del Volcán, Tlalnepantla, Totolapan, Yecapixtla y Zacualpan de Amilpas (Figura 1). Esta área se encuentra dentro del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (INEGI, 2010).

Figura 1. Zona de estudio de producción de aguacate en Morelos



Fuente: INEGI, 2010.

Origen de los datos

La base de datos utilizada fue proporcionada por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Morelos (CESVMOR), por parte de la coordinación de la Campaña de Plagas Reglamentadas del Aguacatero, descargada del Sistema de Información de las Campañas Fitosanitarias (SICAFI) que se operan en México; dependiente del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), en dónde sólo personal autorizado tiene acceso (SICAFI, 2016).

Población de estudio y tamaño de la muestra

En la base de datos del SICAFI (2016), se encontraron reportados más de 11 mil registros de pequeños productores, donde incluyen unidades de producción y también árboles establecidos en traspatios. Debido a la necesidad de información enfocada en el sistema productivo y actualizada, se utilizaron tres filtros, tomando en cuenta tres criterios: i) el año 2015, ii) la variedad del cultivo 'Hass' y iii) el tamaño de la huerta de producción igual o mayor a 1 hectárea.

Posteriormente se realizó un muestreo probabilístico de un total de 1,630 productores, el método utilizado fue un muestreo por estratos, los cuales fueron definidos por la superficie de la unidad de producción. El primero fue de 1 a 1.5 hectáreas, el segundo de 1.6 a 3 hectáreas y el tercero de 3 a 12 hectáreas. Dicho muestreo tuvo una salida de 67 entrevistados añadiendo un 20% de no respuesta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos del muestreo por estratos

Estrato	N	Media	Varianza	Frecuencias	Varianza ponderada S ² d	Tamaño de muestra	Tamaño de muestra (más 20%)
I	933	1.13	0.039	57.20	0.022	39	46
II	529	2.29	0.190	32.50	0.062	22	26
III	168	4.90	5.556	10.30	0.572	7	8
Total	1630				0.656	67	81

Datos: $d=0.1$; Media=1.89

Donde: N: Número total; Z: Nivel de confianza 95%; d: Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia, con datos SICAFI 2016.

Método de colecta de información

Se diseñó una encuesta para la colecta de información que contó con dos apartados, este procedimiento es descrito por Aguilar-Ávila *et al.* (2020). El primero fue para la caracterización, i) Datos generales del productor y de sus huertas. El segundo apartado fue ii) Dinámica de innovación, en donde a partir de un catálogo de innovaciones (Cuadro 3). Posterior al diseño, se realizaron las encuestas aplicadas directamente a los productores, con un total final de 76 encuestas.

Análisis de la información

Para el análisis y organización de los datos, se sistematizó la información mediante una base de datos en Excel®. También se usó SPSS, lo que proporcionó herramientas avanzadas para los análisis estadísticos (comparaciones de medias ANOVA, análisis de correlaciones y análisis de conglomerados).

Análisis de correlaciones

El análisis de correlaciones fue interpretado por lo propuesto por Davis (1971), aplicado para análisis de tipo social, cuyos valores e interpretaciones se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción de los valores de correlación

Coeficiente de correlación	Descripción
0.7 o más	Asociación muy fuerte
0.5 a 0.69	Asociación significativa
0.3 a 0.49	Asociación moderada
0.1 a 0.29	Asociación baja
0.01 a 0.09	Asociación irrelevante

Fuente: Davis (1971).

En los análisis de correlación para identificar la asociación entre variables como el rendimiento y el INAI, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, dado que es el más adecuado para el tipo de variables empleadas. Se decidió reportar los niveles de significancia estadística tanto a 0.01 como a 0.05, lo que permite una interpretación más flexible y es particularmente útil para comparaciones en investigaciones exploratorias previas, en estudios sociales. (Hernández-Sampieri *et al.*, 2010).

Caracterización de productores y huertas de producción (HP)

Para la caracterización del productor, se utilizaron los siguientes datos: i) la edad (años); ii) su escolaridad (años); iii) su experiencia (años); iv) el número de dependientes económicos; y para las unidades de producción fueron: v) la superficie (ha); vi) la densidad de plantación (árboles/ha⁻¹) y vii) el rendimiento (t/ha⁻¹). Dichas variables coinciden con otra investigación realizada en el sector agrícola (Flores-Trejo *et al.*, 2016).

Análisis de la dinámica y adopción de innovaciones

Catálogo de innovaciones

La estructuración del catálogo de innovaciones se realizó utilizando un total de 47 reactivos, los cuales se distribuyeron en nueve categorías. Este proceso de agrupación y construcción de indicadores ha sido ampliamente descrito por Muñoz *et al.* (2004 y 2007).

Cuadro 3. Catálogo de innovaciones

Categorías	Innovaciones
A) Cuidado del ambiente	A1. Incorpora los residuos vegetales al suelo; A2. Realiza el buen manejo de envases de agroquímicos; A3. Usa abonos orgánicos
B) Nutrición	B1. Realiza análisis de suelo para la dosis de fertilización; B2. Realiza la fertilización fraccionada; B3. Usa mezclas de fertilizantes; B4. Aplica microelementos foliares; B5. Usa mejoradores de suelo (cal agrícola)
C) Manejo agronómico	C1. Plantación en alta densidad; C2. Uso de variedades mejoradas; C3. Control motorizada de malezas; C4. Control químico de malezas; C5. Realización de poda de sanidad; C6. Realización de poda de floración y fructificación; C7. Cultivos entre pasillos
D) Sanidad	D1. Control de barrenador de rama; D2. Control de barrenador del hueso; D3. Control de trips; D4. Control de ácaros (araña roja y cristalina); D5. Control de la tristeza del aguacatero; D6. Control de antracnosis-roña-fumagina; D7. Control de anillamiento del pedúnculo; D8. Uso de organismos benéficos; D9. Manejo fitosanitario post-cosecha
E) TIC's	E1. Usa computadora de escritorio; E2. Usa internet para su actividad productiva; E3. Uso de teléfono celular; E4. Uso de dispositivos electrónicos (laptop)
F) Administración y financiamiento	F1. Realiza un control de gastos y bitácora; F2. Tiene algún apoyo gubernamental; F3. Trabaja con alguien más su HP; F4. Su HP cuenta con certificado de sanidad; F5. Recibe asesoría técnica especializada; F6. Recibe capacitación; F7. Cuenta con una fuente de financiamiento
G) Organización	G1. Pertenece a una organización económica; G2. Adquiere agroinsumos de forma organizada; G3. Tiene otra actividad económica
H) Cosecha y comercialización	H1. Programación de cosecha por índices de maduración; H2. Corte mecánico, con resto de pedúnculo; H3. Sus clientes le compran de manera frecuente; H4. Vende por medio de una organización; H5. Realiza contratos de compraventa; H6. Hace sondeo de precios, antes de la venta
I) Riego	I1. Cuenta con sistema de riego presurizado; I2. Realiza la fertirrigación; I3. Capta agua de lluvia (olla de almacenamiento)

Fuente: Elaboración propia.

Grado de innovación

El Índice de Adopción de Innovaciones (INAI) es una herramienta utilizada para medir el grado en que las innovaciones son adoptadas por las empresas o individuos dentro de un contexto específico. Este índice se expresa en una escala de cero a uno, donde cero indica que no se ha adoptado ninguna innovación y uno indica una adopción completa de todas las innovaciones consideradas en el estudio (Muñoz *et al.*, 2007). Este indicador se refiere a la capacidad innovadora del productor, acorde con lo planteado en el *catálogo de innovaciones* (Cuadro 2).

Índice de Adopción de Innovación por Categoría

$$IAIC_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^n \square Innov_{jk}}{n}$$

Donde:

$IAIC_{ik}$ = Índice de adopción de innovaciones del i-ésimo productor en la k-ésima categoría

$Innov_{jk}$ = Presencia de la j-ésima innovación en la k-ésima categoría

n = Número total de innovaciones en la k-ésima categoría

Índice de adopción de innovaciones (INAI)

Finalmente, el Índice de Adopción de Innovaciones (INAI) para cada uno de los entrevistados resulta de la sumatoria de los valores del IAIC, y se construye mediante la siguiente expresión:

$$INAI_i = \frac{\sum_{k=1}^n \square IAIC_k}{k}$$

Donde:

$INAI_i$ = Índice de adopción de innovaciones del i-ésimo productor

$LAIC_{ik}$ = Índice de adopción del i-ésimo productor en la k-ésima categoría

k = Número total de categorías

Tasa de adopción de innovaciones (TAI)

El nivel de adopción por cada innovación permite evaluar la pertinencia de la innovación para cada productor e identificar las características particulares por las cuáles, el productor adopta o no una práctica, así como el área de oportunidad de innovación que pueda existir (Pérez *et al.*, 2016). Es un indicador que permite medir el porcentaje de individuos de una población, que adopta determinada innovación (Rogers, 1995), independientemente de la categoría en la que se encuentre.

$$TAI = \frac{nPAI}{nTP} \cdot 100$$

Donde:

$nPAI$ = número de productores adoptantes de la innovación

nTP = número total de productores

Brecha de adopción y de adoptantes

Según lo que mencionan Muñoz *et al.* (2007), la difusión del conocimiento y actitud ocurre antes que la práctica o adopción, “la brecha CAP” (la brecha Conocimiento-Actitud-Práctica) reducirla es la meta de muchas intervenciones, también es conocida como el área de oportunidad para innovar. Consiste en identificar el valor máximo y el mínimo del INAI y restarlos (Aguilar-Ávila *et al.*, 2020).

Análisis de asociación del INAI y rendimiento

Este apartado de dinámica de innovación se finalizó con un análisis de correlación del INAI con el rendimiento, con la finalidad de identificar las categorías que se encuentran más asociadas a la productividad. Asimismo, se obtuvo una matriz de correlación entre todas las categorías que conforman al INAI.

Análisis de conglomerados o clúster

En esta sección se realizó un análisis de conglomerados, que es clasificada como jerárquica, utilizando para ello el conjunto de las variables cuantitativas y cualitativas del productor y de las unidades de producción, más el INAI general. Pérez y Terrón (2004) en su discusión de la teoría de la difusión y adopción de la innovación, describen el método Ward, con la distancia euclidiana al cuadrado y puntuaciones Z. Los grupos fueron identificados con ayuda del dendrograma, haciendo el corte de los grupos en la distancia re-escalada de combinación. Se realizó la agrupación ya que Flores-Trejo *et al.* (2016), mencionan que el comportamiento en la dinámica de innovación puede constituir un factor que puede incidir en el funcionamiento y comportamiento de los grupos identificados.

Análisis de asociación entre grupos

Posterior a la identificación de los grupos, la información obtenida fue puesta en correlación a las características de los productos y su huerta de producción, así también las categorías y al INAI, la intención fue identificar los factores más relevantes por grupo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de productores y huertas de producción (HP)

Las variables cuantitativas se muestran con los estadísticos descriptivos en el Cuadro 3. El promedio de edad del productor es de 54 años y experiencia en promedio de 20 años. Estos resultados coinciden con otras investigaciones realizadas en el medio rural mexicano de especies arbóreas, así como también se hace mención que la edad de los actores rurales en general es de por arriba de los 60 años (Aguirre Ríos y Santoyo Cortés, 2013; Zarazúa *et al.* 2012).

En cuanto a la escolaridad de los productores, el 13.16% no cuenta con ningún grado de escolaridad, el 25% no terminó la primaria; el 30.26% completó el nivel básico educativo. El 22.37% alcanzó el nivel de secundaria y el 5.26% completó el nivel medio superior, mientras que el 3.95% posee un título universitario. Sánchez *et al.*, (2016) reporta que Morelos sobresale con una media de escolaridad de 11 años. Es relevante mencionar que la mayoría de los productores con secundaria terminada indicaron haber completado mediante escuelas y programas de educación para adultos.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos del productor y HP

Variables (n=76)	Media	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Edad (años)	54	53.5	65	28	79	12.07	22.49
Escolaridad (años)	5.89	6	6	0	17	3.97	67.4
Experiencia (años)	20.03	17.5	30	3	50	11.35	56.67
Dependientes económicos	3.12	2	2	0	8	2.17	69.55
Superficie (ha)	2.00	1.50	1.00	1	8	1.33	66.5
Densidad (árboles·ha ⁻¹)	139.85	131.5	100	35	250	57.23	40.92
Rendimiento (t·ha ⁻¹)	7.94	8	5	1	22.5	3.91	49.24

Fuente: Elaboración propia.

El número de dependientes económicos por cada unidad de producción en promedio fue de 3 integrantes. El tamaño de las familias en México es de 4 a 5 integrantes. Lo que representa la mitad del escenario de otros países como Nigeria, en donde el tamaño de la familia es de 6 a 10 personas, sobre todo por la mano de obra que representan para la unidad de producción; un número alto de dependientes podría implicar una mayor presión económica, lo que puede afectar las decisiones en la adopción de innovaciones (Kugrur *et al.* 2014).

La superficie media considerada de producción en Morelos es de 2 hectáreas, con una mediana de 1.5 hectáreas, cifra que coincide con la reportada por el INIFAP en la Agenda Técnica Agrícola de Morelos (2015). Esta superficie podría ser considerado pequeña en México, sin embargo, este mismo tamaño de huerta de producción, es similar al de las zonas productoras de aguacate en España, en la región de Granada y el litoral malagueño; la pequeña superficie de las huertas influye en las estrategias de manejo y producción (Calatrava-Requena & Sayadi, 2003).

Durante el ciclo productivo 2015-2016, se registró un rendimiento promedio de 7.94 t·ha⁻¹, lo que representó un dato inferior del 3.7% en comparación con el rendimiento reportado por el SIAP para el mismo periodo en 2016. La alta variabilidad en el rendimiento indica que hay diferencias significativas en las prácticas de manejo y las condiciones del cultivo que podrían ser mejoradas.

Dinámica y grado de adopción de innovaciones

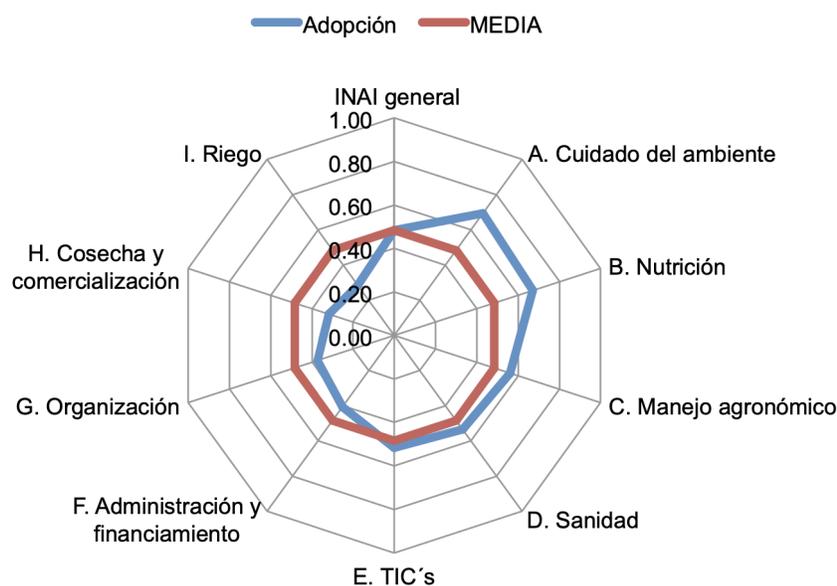
Índice de adopción de innovaciones (INAI)

El grado de adopción de innovaciones en la zona productora de aguacate se clasifica como medio, ya que se adoptan en promedio el 49.7% (Figura 3) de las innovaciones contenidas en el catálogo de innovaciones (Cuadro 3). Este resultado a su vez concuerda con otros estudios realizados con la misma metodología (Sánchez *et al.*, 2016, Zarazúa *et al.*, 2012). Comparado con otros estudios de sistemas productivos, que se encuentran por debajo de esta media (Aguirre Ríos & Santoyo Cortés, 2013). Esto hace pensar lo mencionado con Rogers *et al.* (2019) que menciona que todo proceso de adopción de innovaciones está relacionado al contexto en el que se esté evaluando.

Las innovaciones que más se adoptaron del catálogo fueron: A) Cuidado del ambiente, B) Nutrición, C) Manejo agronómico, D) Sanidad y E) TIC's (Figura 2); las innovaciones propuestas en dichas categorías, tienen un carácter técnico y comparten las características de que se pueden experimentar, y que se puede observar una ventaja relativa en la productividad, además de ser compatibles entre sí, lo que las hace más propensas a ser adoptadas, ya que son acciones de innovaciones operativas (COTEC, 2007; Rogers, 1995).

Las categorías que son menos adoptadas y que se encontraron por debajo de la media del INAI (49.7%) fueron la F) Administración y financiamiento, G) Organización, H) Cosecha y comercialización y I) Riego; dichas categorías parecen ser que son las que requieren de una mayor cantidad de recursos, para llevarlas a cabo e incurrir en dimensiones de temporalidad de mediano y largo plazo, como el financiamiento y la organización (García-Sánchez, *et al.*, 2018,). Una reflexión importante, es que la mayoría de los procesos de intervención reportados en el sector agrícola, no incluyen mejoras en la organización, el desarrollo del capital social o las prácticas agroempresariales (Almaguer *et al.*, 2021).

Figura 2. INAI por categoría



Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

La categoría de I) Riego resultó ser la categoría de mayor limitación de la productividad, ya que tiene que ver con dos aspectos principales; los cuales son el agua, un recurso natural cada vez más escaso y que para su operación se necesita infraestructura, para el almacenamiento y la distribución en la unidad de producción. El tema del riego es identificado también por otras investigaciones en donde destacan el incremento en el potencial productivo (Cano-Reyes *et al.* 2015).

La mitad de los productores tienen acceso a las innovaciones de tecnología descritas en la categoría TIC's; así como González-Tena *et al.* (2015), concluyen que este tipo de innovaciones son usadas o consultadas como fuentes secundarias por los productores. Ya que desde el punto de vista del productor, sus principales fuentes de información son el vecino productor, el asesor técnico que consulte o en donde compra los insumos agrícolas (Jiménez *et al.* 2016).

Muchas veces se piensa que el cambio organizativo es una respuesta al cambio tecnológico, cuando de hecho la innovación en organización podría ser una condición previa y necesaria para las innovaciones tecnológicas; siendo las categorías G) Organización y I) Riego de las menos adaptadas, la mejora en dichas innovaciones implicaría una mejora en la calidad y la eficiencia del trabajo, favoreciendo el intercambio de información y daría a los productores una mayor capacidad de aprendizaje y de la utilización de nuevos conocimientos y tecnologías (OCDE, 2005).

Tasa de adopción de innovaciones (TAI)

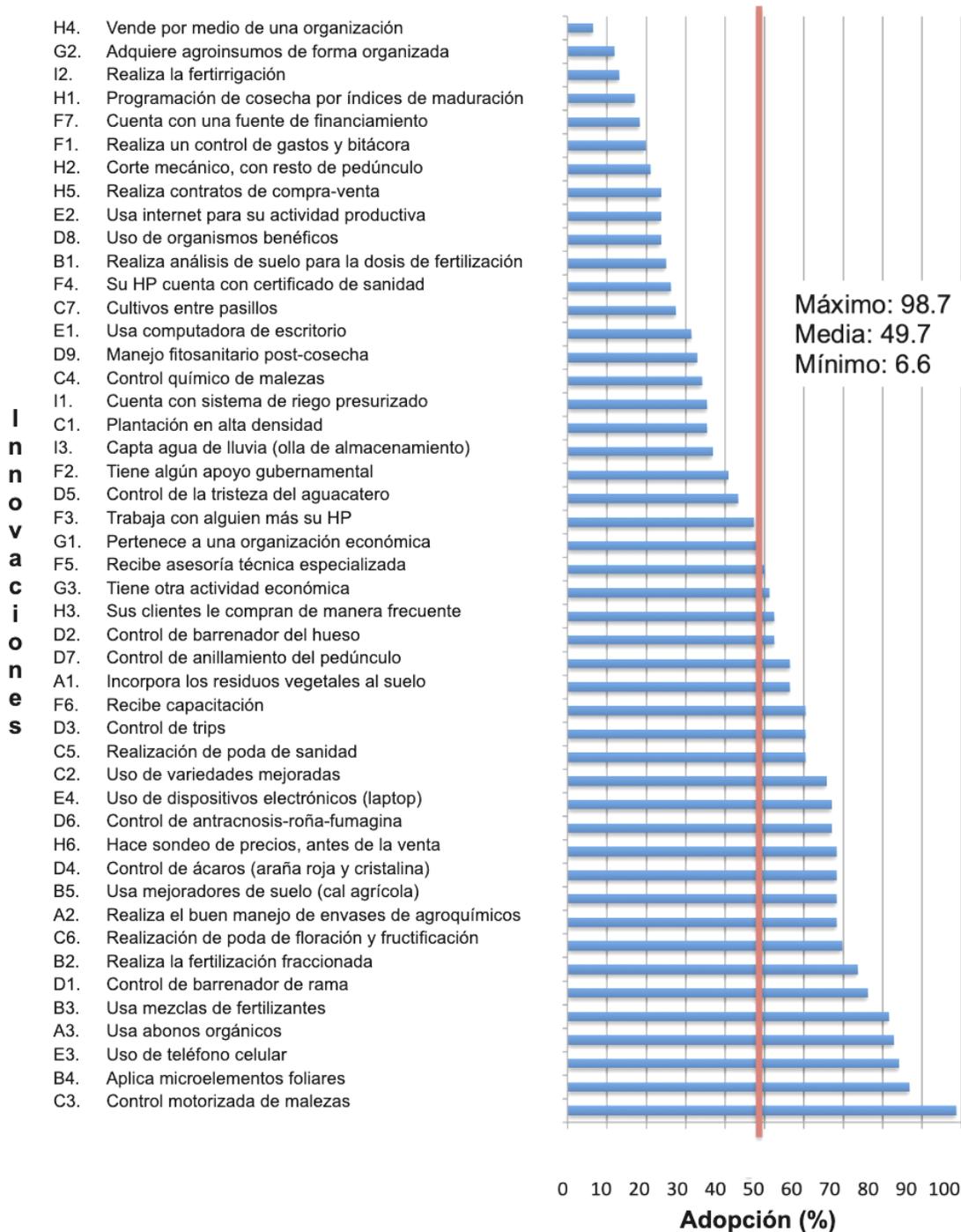
Las innovaciones con mayor porcentaje de adopción fueron, C3. Control motorizado de malezas, alcanzando un 98.68%; B4. Aplicación de microelementos foliares, con un 86.84%, E3. Uso de teléfonos celulares con un 84.21%; A3. Uso de abonos orgánicos con un 82.89%; y B3. Uso de mezclas de fertilizantes con un 81.57%. Dichos resultados muestran la importancia práctica y la relevancia de estas actividades para la productividad en el aguacate (Téliz D., & Mora, A. 2007). Casi todas las innovaciones son tecnológicas y están orientadas para mejorar la eficiencia productiva (Pérez *et al.* 2016).

Las menores tasas de adopción fueron para las innovaciones H4. Venta a través de una organización (6.57%); G2. Adquisición organizada de agroinsumos (11.84%); la I2. Uso de la fertirrigación como método de fertilización (13.15%); H1. Programación de cosechas según índices de maduración (17.10%); y F7. Acceso a fuentes de financiamiento para la actividad (18.42%). Esto evidencia la baja organización y la escasa adopción de tecnologías más complejas, las cuales aún no son comprendidas o asequibles por todos los productores (Almaguer *et al.*, 2015).

En la Figura 3, se puede observar un fenómeno diferente al que se analizó con las categorías, ya que se muestra como hay innovaciones también de carácter técnico que no están siendo adoptadas, esto debido al grado de complejidad en su correcto uso y manejo, como es el caso de los sistemas de riego y fertirrigación (Cano-Reyes *et al.*, 2015).

La baja adopción de la innovación H1. Programar la cosecha con índices de maduración, puede ser explicada ya que normalmente es algo que el productor no puede observar en campo, sino que está práctica está integrada a la comercialización ya que dicha medición se refleja en la calidad del producto en postcosecha (Roger, 1995; INIFAP, 2015). Un dato relevante encontrado fue que el 47.36% de los productores reportaron que trabajan sus huertas en asociación con alguien más, por lo regular un familiar cercano; por lo que están más propensos a la asociación (Sánchez-Sánchez *et al.* 2020).

Figura 3. Tasa de adopción de innovaciones



Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

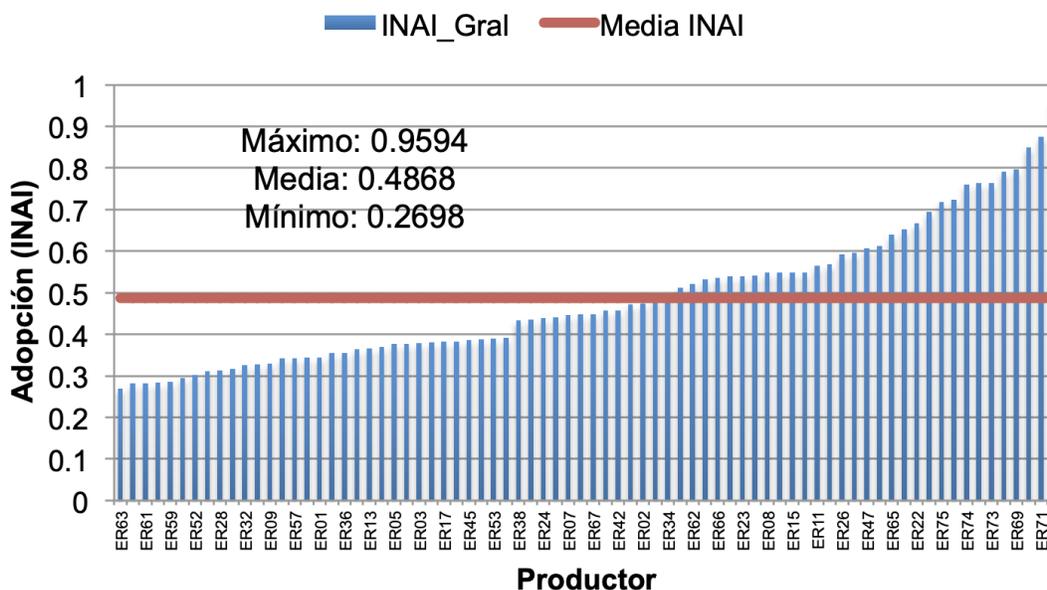
Brecha de adopción de innovaciones

Los resultados se ordenaron del productor que menos adopta (26.98%) al que mayormente lo hace (95.94%), se observó cómo es que la mitad de los productores adoptan el 48.68% de todas las innovaciones propuestas en el catálogo (Figura 4).

La brecha de adopción es de 68.96% (Figura 4). Este indicador representa el porcentaje del potencial o área de oportunidad, en donde se puede influenciar a los productores que están por debajo de la media y a los que están por arriba de la media, a que se igualen con el que más adopta; también permite hacer evaluaciones posteriores a una intervención de capacitación y asistencia, en una región determinada (Aguirre Ríos y Santoyo Cortés, 2013).

En contraste con otros estudios realizados en el sector agrícola en México, se reportan índices de adopción del 24.88% (Sánchez *et al.* 2016); esto podría indicar que en el cultivo del aguacate es necesario adoptar más innovaciones para la producción, ya que requiere de un manejo más especializado.

Figura 4. Brechas de adopción de innovaciones



Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Asociación del INAI con las características del productor y la HP

En el cuadro 4 se muestra como el INAI se asocia con la escolaridad de manera moderada y significativa; al igual que con la densidad de plantación y el rendimiento; es decir que, a mayor nivel de escolaridad, mayor es el grado de innovación y de productividad. Estos mismos resultados fueron obtenidos en otros trabajos, en donde se reporta que a mayor rendimiento hay un grado más alto de adopción, representado por el INAI (Aguilar-Gallegos *et al.*, 2016; Aguirre Ríos y Santoyo Cortés, 2013; Luna-Mena *et al.*, 2016).

Cuadro 4. Correlación INAI y características del productor y la HP

Indicador	Variables	Coefficiente de correlación de Pearson	DE
INAI	Edad (años)	-0.005	10.2
	Escolaridad (años)	0.399**	4.3
	Experiencia (años)	0.204	8.5
	Dependientes económicos	0.275*	21.1
	Superficie (ha)	0.282*	15.7
	Densidad (árboles-ha ⁻¹)	0.405**	120.5
	Rendimiento (t-ha ⁻¹)	0.378**	3.6

P<0.05 = *, P<0.01 = **, DE = Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Análisis de correlación del rendimiento con las categorías del INAI

De acuerdo con los resultados el rendimiento se asocia moderada y significativamente con las categorías, F) Administración y financiamiento, G) Organización, H) Cosecha y comercialización y con I) Riego, este comportamiento se puede discutir, con algo muy parecido a lo encontrado por Pérez *et al.* (2016), quienes ponderaron cada una de las categorías, demostrando que no todas tienen un peso igual en la productividad (Cuadro 5).

Las categorías como A) Cuidado del ambiente, B) Nutrición, C) Manejo agronómico, D) Sanidad y E) TIC's; al no estar correlacionadas significativamente al rendimiento, no quiere decir que no estén relacionadas a la productividad, sino que son parte de su sistema actual; al contrario de las otras categorías que hace la diferencia entre aquellos productores con mayor rendimiento (Muñoz *et al.*, 2004).

Cuadro 5. Correlación entre el rendimiento y las categorías del INAI

Indicador	Categoría	Coefficiente de correlación de Pearson	DE
Rendimiento (t·ha ⁻¹)	A. Cuidado del ambiente	0.067	2.5
	B. Nutrición	0.201	3.1
	C. Manejo agronómico	-0.017	2.8
	D. Sanidad	0.149	2.9
	E. TIC's	0.125	2.6
	F. Administración y financiamiento	0.421**	3.4
	G. Organización	0.309**	3.2
	H. Cosecha y comercialización	0.324**	3.3
	I. Riego	0.286*	3.0
	INAI	0.378**	3.5

P<0.05 = *, P<0.01 = **, DE = Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Análisis de correlación entre categorías y el INAI

La asociación de todas las categorías con el INAI, indica que existe una interconexión de todos estos aspectos en la gestión de la producción de aguacate. Todas las correlaciones significativas fueron positivas, lo anterior motiva a pensar que las innovaciones que fueron incluidas dentro de cada categoría son las adecuadas para realizar dicho análisis (Pérez *et al.*, 2016).

La categoría I) Riego es la que tiene más correlaciones altamente y moderadamente significativas con otras categorías como C) Manejo agronómico (0.518**), B) Nutrición (0.487**), y D) Sanidad (0.416**); subraya la importancia del riego en múltiples aspectos del manejo agronómico y que es un factor clave en la productividad.

La alta correlación (0.565**) entre estas dos categorías como A) Cuidado con el ambiente y C) Manejo agronómico sugiere que las prácticas de dichas categorías están estrechamente vinculadas, indicando que son innovaciones sostenibles e integrales en el manejo del cultivo.

La fuerte correlación entre la categoría G) Organización y uso de E) TIC's indica que una mejor organización dentro de las unidades de producción puede beneficiarse significativamente del uso de tecnologías de información y comunicación. Con esta información encontrada se pudiera dar la recomendación de cuales innovaciones y cuáles categorías podrían ser de mayor utilidad al momento de generar una estrategia de intervención (Pérez *et al.*, 2016).

Cuadro 6. Matriz de correlaciones de las categorías del INAI para el cultivo de aguacate en Morelos

Cat.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	INAI
A	1									
B	0.294*	1								
C	0.565**	0.369**	1							
D	0.046	0.427**	0.211	1						
E	0.055	0.059	0.01	0.097	1					
F	0.229*	0.116	0.033	0.095	0.244*	1				
G	-0.063	0.115	-0.035	-0.048	0.536**	0.327**	1			
H	0.219	0.378**	0.413**	0.341**	0.255*	0.144	0.15	1		
I.	0.412**	0.487**	0.518**	0.416**	0.148	0.342**	0.234*	0.451**	1	
INAI	0.508**	0.609**	0.549**	0.513**	0.510**	0.511**	0.470**	0.642**	0.789**	1

Categorías: A. Cuidado del ambiente; B. Nutrición; C. Manejo agronómico; D. Sanidad; E. TIC's; F. Administración y financiamiento; G. Organización; H. Cosecha y comercialización; I. Riego; INAI. INAI General.

$P < 0.05 = *$, $P < 0.01 = **$

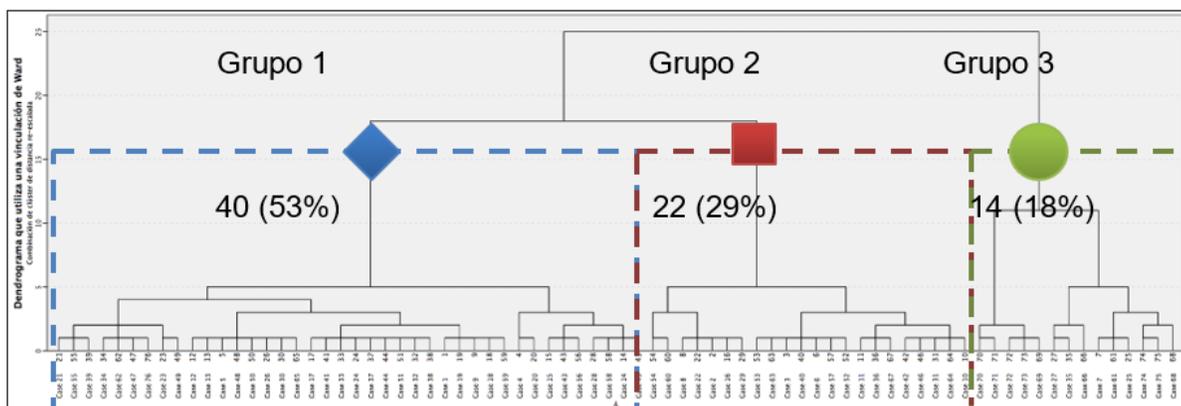
Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Análisis de conglomerados o clúster

Se identificaron tres grupos a partir de ocho variables, que fueron los atributos de los productores y sus huertas, añadió el INAI. La Figura 5 es el dendograma, donde de puede apreciar la formación de los grupos, fue realizado el corte en el nivel 15 de la distancia reestructurada del método de agrupación, el cual es ampliamente descrito por Rodeiro Pazos y López Penabad (2007).

La dinámica de innovación contribuye como factor clave en el comportamiento de los grupos, ya que define su alcance de los resultados obtenidos en la productividad; mostrando cómo efectivamente el INAI fue determinante en la segregación de los grupos (Flores-Trejo *et al.*, 2016).

Figura 5. Dendrograma de agrupación



Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

A continuación, se hace una descripción de los grupos de acuerdo con las características en las que se basó la agrupación, esto con ayuda de la comparación de medias (Cuadro 6). Existen estudios en donde se realiza el mismo método de agrupación sin encontrar diferencias significativas en los grupos (Navarro-Niño *et al.* 2023), por lo que se utilizó la prueba de Scheffe, ya que proporciona un mejor análisis considerando la naturaleza de las variables.

Cuadro 6. Comparación de medias del productor, la HP y el INAI

Variables	Media general	Grupos		
		1	2	3
Productores (%; de n=76)		53	29	18
Edad (años)	53.68	46.18a	64.95c	57.43b
Escolaridad (años)	5.89	6.45b	2.23a	10.07c
Experiencia (años)	20.03	13.03a	28.00b	27.50b
Dependientes económicos	3.12	3.33b	1.68a	4.79b
Superficie (ha)	2.00	1.68a	1.49a	3.97b
Densidad (árboles·ha ⁻¹)	139.86	115.05a	148.41a	197.29b
Rendimiento (t·ha ⁻¹)	7.94	7.27a	6.50a	12.11b
INAI General	0.4841	0.4380a	0.4724a	0.6343b

* Medias con diferente literal (a,b,c) en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas, según Scheffe (p<0.05). DE = Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Grupo 1:

El primer grupo está conformado por productores más jóvenes (46.18 años), con nivel de escolaridad medio de 6.45 años, menor experiencia en la actividad (13 años), mayor cantidad de dependientes económicos, superficie moderada de 1.68 ha, menor densidad de árboles 115 árboles·ha⁻¹, y rendimiento medio de 7.27 t·ha⁻¹. Su INAI es el menor con 43.80%.

Grupo 2:

El segundo grupo se diferencia por los productores de mayor edad (65 años), con el menor nivel de escolaridad 2.23 años, mayor experiencia productiva (28 años), menos dependientes económicos, menor superficie productiva con 1.49 ha, densidad moderada de árboles (148.41 árboles·ha⁻¹) y es el grupo que menor rendimiento reporta con 6.50 t·ha⁻¹. Su INAI es considerado intermedio 47.24%.

Grupo 3:

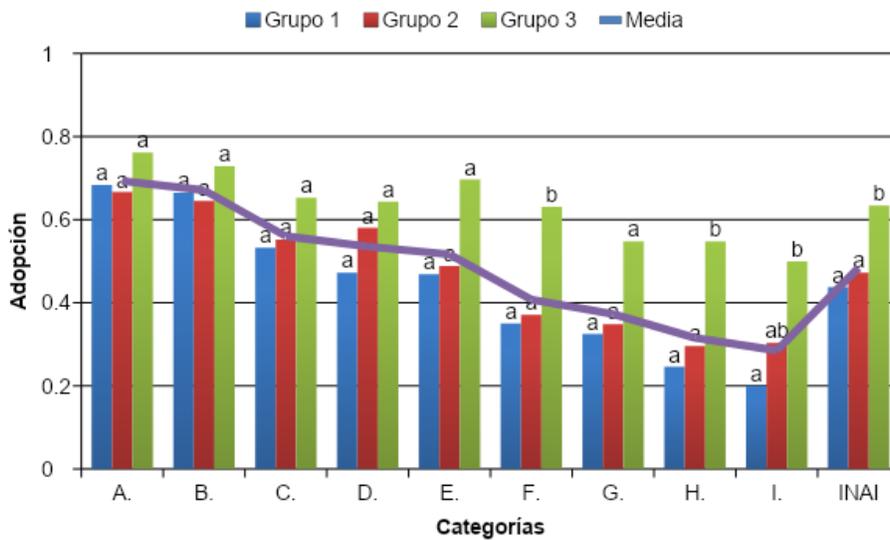
Este tercer grupo se caracterizó por productores de edad media (57.43 años), con mayor escolaridad de 10.07 años, con una experiencia productiva de 27.5 años, más dependientes económicos, una mayor superficie de 3.97 ha, mayor densidad de árboles (197.29 árboles·ha⁻¹), significativamente un mayor rendimiento con 12.11 t·ha⁻¹, superior a la media de todos los grupos. Su INAI es el más alto 63.43%. Los resultados sugieren que una mayor escolaridad y experiencia pueden estar asociadas con mejores prácticas agrícolas y mayores rendimientos.

Comparación de medias entre categorías del INAI

Las diferencias significativas en los niveles de adopción entre los grupos están diferenciadas por las letras a y b en la Figura 6. Estas diferencias se destacan particularmente en la categoría I) Riego, donde el Grupo 3 tiene un nivel de adopción significativamente más alto. Las diferencias también son notables en las categorías de F) Administración y financiamiento y H) Cosecha y comercialización, lo que indica que estas son áreas donde los grupos varían más en términos de adopción de innovaciones.

Es importante mencionar que a pesar de que la categoría G) Organización, se asocia significativamente con el rendimiento y que el grupo 3 tiene la media más alta con respecto a los demás grupos, no existe una diferencia significativa entre los grupos.

Figura 6. Comparación de medias del nivel de adopción entre grupos



Categorías: A. Cuidado del ambiente; B. Nutrición; C. Manejo agronómico; D. Sanidad; E. TIC's; F. Administración y financiamiento; G. Organización; H. Cosecha y comercialización; I. Riego; INAI. INAI General.

Medias con diferentes literal (a, b) en la misma categoría son significativamente diferentes, según Scheffe ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Asociación entre el INAI y los grupos

En el Cuadro 7, se aprecia cómo dichas categorías se asocian de diferente manera con cada uno de los grupos formados.

Cuadro 7. Análisis de correlación entre grupos

Indicador	Categoría	Coeficiente de correlación de Pearson			
		General	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
INAI	A. Cuidado del ambiente	0.508**	0.400*	0.616**	0.708**
	B. Nutrición	0.609**	0.563**	0.695**	0.799**
	C. Manejo agronómico	0.549**	0.387*	0.616**	0.794**
	D. Sanidad	0.513**	0.582**	0.686**	0.175
	E. TIC's	0.510**	0.331*	0.183	0.871**
	F. Administración y financiamiento	0.511**	0.366*	0.111	0.751**
	G. Organización	0.470**	0.243	-0.074	0.898**
	H. Cosecha y comercialización	0.642**	0.536**	0.513*	0.683**
	I. Riego	0.789**	0.636**	0.777**	0.922**

$P < 0.05 = *$, $P < 0.01 = **$

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

El análisis de correlación para el Grupo 1, muestra una asociación significativa con la categoría de I) Riego (0.636**), lo que sugiere que las innovaciones de riego tienen una influencia considerable en los resultados generales de sus actividades. Sin embargo, otras áreas críticas como D) Sanidad (0.582**), B) Nutrición (0.563**), y H) Cosecha y comercialización (0.536**) también presentan correlaciones moderadas, indicando que estos factores son esenciales para el rendimiento y sostenibilidad de sus prácticas agrícolas.

Para el Grupo 2, el análisis de correlación destaca una asociación muy fuerte entre la categoría de I) Riego (0.777**) y los resultados generales, sugiriendo que las innovaciones de riego implementadas son cruciales para su éxito. Además, se observan correlaciones moderadas-altas con indicadores como B) Nutrición (0.695**), D) Sanidad (0.686**), y C) Manejo agronómico (0.616**). La correlación negativa y no significativa en G) Organización (-0.074) sugiere una desconexión potencial entre la estructura organizacional y los resultados operativos, requiriendo atención específica para optimizar el rendimiento.

El Grupo 3 se destaca por presentar asociaciones muy altas en varias categorías, sugiriendo una fuerte interdependencia entre diferentes aspectos de su manejo agrícola. Particularmente, el indicador de G) Organización muestra la correlación más fuerte y significativa (0.898**), lo que implica que las prácticas organizacionales están estrechamente alineadas con los resultados positivos del grupo. Otras categorías como E) TIC's (0.871**), F) Administración y financiamiento (0.751**), y I) Riego (0.922**) también presentan asociaciones fuertes, indicando que estos factores son clave para su desempeño. Sin

embargo, la categoría de D) Sanidad muestra una correlación baja y no significativa (0.175), lo que podría señalar un área de vulnerabilidad o la necesidad de fortalecer las innovaciones de sanidad para mantener o mejorar los resultados obtenidos en otros aspectos. Este patrón sugiere que, aunque el grupo ha logrado integrar exitosamente muchos elementos clave en su operación, aún hay áreas específicas que requieren atención para asegurar un desempeño agrícola equilibrado y sostenible.

Los resultados muestran que las categorías tienen diferentes niveles de correlación dependiendo del grupo. La categoría de I) Riego es un factor consistentemente significativo para todos los grupos. Esto sugiere que diferentes grupos tienen fortalezas y debilidades particulares en ciertos aspectos del manejo agrícola, lo que puede guiar intervenciones específicas según las necesidades de cada grupo.

CONCLUSIONES

La caracterización de los productores de aguacate en Morelos hace énfasis que son en su mayoría mayores, con una edad promedio de 54 años y 20 años de experiencia en el cultivo. Sin embargo, tienen bajos niveles de escolaridad, lo que podría limitar su capacidad para adoptar nuevas tecnologías. Sin embargo, presentan bajos niveles de escolaridad, la mayoría de los productores tienen un nivel educativo básico o inferior, un pequeño porcentaje alcanzando la educación media superior o superior. Este perfil demográfico sugiere la necesidad de estrategias de intervención debe considerar programas de capacitación y educación diseñada pedagógicamente para adultos.

A mayor nivel de escolaridad, mayor es el grado de adopción de innovaciones y, consecuentemente, la producción por hectárea. Mejorar el acceso a la educación y capacitación podría incrementar la adopción de innovaciones y mejorar los rendimientos. Las innovaciones, que tienden a ser más adoptadas son de carácter técnico y práctico, muestran una ventaja relativa en la productividad y son compatibles entre sí. Esto sugiere que los productores priorizan innovaciones que ofrecen beneficios inmediatos y visibles.

La asociación moderada y significativa que se encontró con las categorías de administración y financiamiento, la organización, la cosecha y comercialización, y el riego; con el rendimiento. Fue la evidencia de un impacto diferencial en la productividad, siendo crucial para aquellos productores con mayores rendimientos. Las innovaciones en estas áreas no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también potencian la sostenibilidad y competitividad del cultivo de aguacate.

El análisis de conglomerados reveló la existencia de perfiles de productores, con características y niveles de adopción de innovaciones diferenciados. El grupo con mayores niveles de escolaridad y experiencia presenta los mayores rendimientos y el mayor INAI, destacando la importancia de la educación y la experiencia en la adopción de innovaciones. En contraste, los grupos con menor escolaridad y experiencia muestran menores rendimientos y niveles de adopción de innovaciones. Este análisis subraya

la necesidad de intervenciones específicas adaptadas a las características de cada grupo. Implementar estrategias enfatizando en la educación y capacitación que promuevan la innovación en la agricultura es crucial para aumentar la competitividad y sostenibilidad de la producción de aguacate en Morelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Ávila, J., Martínez-González, E.G., Aguilar-Gallegos, N., & Altamirano Cárdenas, J.R. (2020). *Análisis de procesos de innovación en el sector agroalimentario y rural. Metodologías y herramientas para la investigación*, Folleto 8. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Aguilar Gallegos, N., Martínez-González, E. G., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, H., Muñoz Rodríguez, M., & García-Sánchez, E. I. (2016). Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integración y realidad. *Estudios Gerenciales*, (32), 197–207. <http://doi.org/10.1016/j.estger.2016.06.006>
- Aguirre Ríos, C. E., & Santoyo Cortés, V. H. (2013). *El cultivo del árbol del hule (Hevea brasiliensis Muell Arg.). avances y retos en la gestión de la innovación*. Chapingo, Estado de México: Folleto 15. UACH-CIESTAAM.
- Almaguer, V. G., Ayala, G. A. V., Márquez, B. S. R., Flores, T. A., Oble, V. E., & Cabrera del Ángel, A. (2015). Desarrollo humano y rural integral a través de la innovación agroempresarial, metodología de extensionismo organizacional y tecnológico. In Á. J. Aguilar & C. V. H. Santoyo (Eds.), *Modelos alternativos de capacitación y extensión comunitaria* (p. 194). México.
- Almaguer Vargas, G., Ayala Garay, A. V., Oble Vergara, E. & Flores-Trejo, A. (2021). Extensión agrícola para la promoción de la innovación y la rentabilidad de los citricultores en México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1201. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1201
- Berumen, S. A. (2008). *Nuevas estrategias de gestión en la economía de la innovación*. Madrid, España.: Marcial Pons.
- Brown, L. A. (1981). *Innovation Diffusion: A New Perspective*. New York, (EUA): Methuen.
- Calatrava Requena, J., & Sayadi, S. (2003). Las empresas productoras de aguacate en el litoral mediterráneo español: Factores que determinan su productividad. In *Actas V Congreso Mundial del Aguacate* (pp. 831–844).
- Cano Reyes, O., Villanueva-Jiménez, J. A., Reta-Mendiola, J. L., Huerta-De-la Peña, A., & Zarazúa, J.-A. (2015). Investigación participativa y redes de innovación en agroecosistemas con papayo en Cotaxtla, Veracruz, México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, (12), 219–237.
- CESVMOR. (2016). *Informe Mensual Enero Campaña Plagas Reglamentadas del aguacatero: Ejercicio 2016*. Retrieved from www.cesvmor.org.mx
- COTEC. (2007). *La persona protagonista de la innovación*. Madrid, España: Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica.
- Davis, J. A. (1971). *Elementary Survey Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Methods of Social Science.
- FAOSTAT. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division [online]. Retrieved November 20, 2015, from <http://faostat3.fao.org>

- Flores Trejo, A., Almaguer-Vargas, G., Aguilar-Ávila, J., Rendón-Medel, R., & Márquez-Berber, S. R. (2016). Redes sociales y confianza entre productores de rambután en el Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp.*(Núm. 15 30 de junio-13 de agosto), 3009–3021.
- García Sánchez, E. I., Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., y Aguilar-Ávila, J. (2018). Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15(81). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr15-81.sima>
- González Tena, A. P., Rendón Medel, R., Sangerman-Jarquín, D. M., Cruz Castillo, G., & Díaz José, J. (2015). Extensionismo agrícola en el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en Chiapas y Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 175–186.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación (Quinta edición). México: McGraw-Hill.
- INEGI. (2010). Marco geoestadístico 2010, versión 5.0 (Censo de Población y Vivienda, 2010. www.inegi.org.mx
- INIFAP. (2015). *Agenda Técnica Agrícola de Morelos*. México, D.F.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Jiménez Carrasco, J. S., Rendón Medel, R., U. Toledo, J., & Aranda Osorio, G. (2016). Las tecnologías de la información y comunicación como fuente de conocimientos en el sector rural, 3063–3074.
- Kugrur, P. G., Daudu, S., & Onu, O. E. (2014). Factors Affecting Adoption of Poultry Innovations by Rural Farmers in Otukpo Local Government Area of Benue State, Nigeria. *International Journal of Livestock Research*, 4(8). <http://doi.org/10.5455/ijlr.20141116060805>
- Luna Mena, B. M., Altamirano-Cárdenas, J. R., Santoyo-Cortés, V. H., & Rendón-Medel, R. (2016). Factores e innovaciones para la adopción de semillas mejoradas de maíz en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp.*(Núm. 15 30 de junio-13 de agosto), 2995–3007.
- Muñoz, R. M., Aguilar, A. J., Rendón, M. R., & Altamirano, C. J. R. (2007). *Análisis de la dinámica de innovación en cadenas agroalimentarias*. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM/PIIAI.
- Muñoz Rodríguez, M., Rendón Medel, R., Aguilar Ávila, J., García Muñoz, J. G., & Altamirano Cárdenas, J. R. (2004). *REDES DE INNOVACIÓN Un acercamiento a su identificación, análisis y gestión para el Desarrollo Rural*. Michoacán, México: Fundación PRODUCE Michoacán-UACH.
- OCDE. (2005). *Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre Innovación*. (3ª Edición, Ed.). OCDE/Eurostat Communities.
- Pérez Guel, R. O., Martínez Bautista, H., López Torres, B. J., & Rendón Medel, R. (2016). Estimación de la adopción de innovaciones en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp.*(15), 2909–2923.

- Pérez, P. M., & Terrón, T. M. (2004). La teoría de la difusión de la innovación y su aplicación al estudio de la adopción de recursos electrónicos por los investigadores en la Universidad de Extremadura. *Revista Española de Documentación Científica*, 27(3), 308–329.
- Porter, M. E. (2007). La ventaja competitiva de las naciones. *Harvard Business Review*, 85(11), 69–95.
- Radjou, N. (2004). *Innovation Networks*. Forrester Big Idea. Cambridge, USA.
- Rodeiro Pazos, D., & López Penabad, M. C. (2007). La innovación como factor clave en la competitividad empresarial: un estudio empírico en pymes. *Revista Galega de Economía*, 16(1).
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovation*. New York, USA: The Free Press.
- Sánchez Gómez, J., Rendón Medel, R., Díaz José, J., & Sonder, K. (2016). El soporte institucional en la adopción de innovaciones del productor de maíz: región centro, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp.*(Núm. 15 30 de junio-13 de agosto), 2925–2938.
- Sánchez Sánchez, A., Santoyo-Cortés, V. H., De La Vega-Mena, M., Muñoz-Rodríguez, M. y Martínez-González, E. G. (2020). Adopción de innovaciones y factores asociados en empresas familiares agropecuarias y agroindustriales de México. *Estudios Gerenciales*, 36(154), 43-55. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2020.154.3424>
- SIAP. (2016). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA [online]. Retrieved November 25, 2016, from <http://www.siap.gob.mx>
- SICAFI. (2016). Sistema de Información Relacionada con las Campañas Fitosanitarias que Operan en México, SENASICA [online]. Retrieved June 21, 2016, from www.sicafi.gob.mx
- Téliz, D., & Mora, A. (2007). *El aguacate y su manejo integrado*. México, D.F.:Mundi Prensa.
- Zarazúa, J. A., Almaguer-Vargas, G., & Rendón-Medel, R. (2012). Capital social. Caso red de innovación de maíz en Zamora, Michoacán, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 9(68), 105–124

Análisis de los principales riesgos de la crisis de fertilizantes en Ecuador: Prioridades de acción e investigación

Claudia Coral¹ y Robert Carcamo Mallen¹

Resumen. En un contexto global marcado por la pandemia de Covid-19, la guerra en Ucrania y eventos climáticos extremos, los impactos de la crisis global de fertilizantes tuvieron repercusiones económicas, sociales, y políticas principalmente en aquellos países que tienen una alta dependencia de las importaciones como Ecuador. Este artículo, caracteriza la crisis internacional de fertilizantes, analiza los principales riesgos de índole económico, social y político y, finalmente, indica las prioridades de acción e investigación necesarias para mitigar los efectos de la crisis. Los principales hallazgos recalcan la importancia de diversificar las fuentes de suministro de fertilizantes, promover prácticas agrícolas sostenibles y fomentar la producción de bioinsumos como estrategias a largo plazo. Se enfatiza la colaboración entre sectores y la investigación interdisciplinaria como vías cruciales para abordar desafíos presentes y futuros en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental en Ecuador.

Palabras claves: Ecuador, Análisis de riesgos, Crisis de fertilizantes.

Abstract. In a global context marked by the Covid-19 pandemic, the war in Ukraine and extreme weather events, the impacts of the global fertilizer crisis had economic, social and political implications mainly in countries with a high dependence on imports, such as Ecuador. This article characterizes the international fertilizer crisis, analyzes the main economic, social and political risks and, finally, indicates the priorities for action and research needed to mitigate the effects of the crisis. The main findings underscore the importance of diversifying fertilizer supply sources, promoting sustainable agricultural practices, and encouraging the production of bio-inputs as long-term strategies. Emphasis is placed on inter-sectoral collaboration and

¹ Humboldt Universität zu Berlin, Thaeer-Institute, Department of Agricultural Economics, Agrifood Chain Management, Unter den Linden 6, Berlin, Germany. e-mails: claudia.coral@hu-berlin.de, carcamor@hu-berlin.de

interdisciplinary research as critical pathways for addressing present and future challenges in food security and environmental sustainability in Ecuador.

Keywords: *Ecuador, Risk analysis, Fertilizer crisis.*

INTRODUCCIÓN

La pandemia de Covid-19, la guerra en Ucrania y los fenómenos climáticos extremos han desencadenado una crisis alimentaria mundial de gran magnitud. La pandemia de Covid-19 dejó un patrón de recuperación económica desigual y pérdidas de ingresos no recuperados entre los países. Esta situación, aunada al impacto general de la guerra en Ucrania en los mercados mundiales de cereales, tanto directa como indirectamente —con el incremento de los precios de los fertilizantes y energía—, ha provocado el aumento de las desigualdades existentes entre los países y un mayor número de población en inseguridad alimentaria a nivel global (Abay, 2023). En conjunto, Rusia y Ucrania, suministraron el 30% y el 20% de las exportaciones mundiales de trigo y maíz, respectivamente, en 2022 (FAO, FIDA, UNICEF, WFP, WHO, 2022). Igualmente, Rusia es uno de los principales exportadores mundiales de fertilizantes nitrogenados, potásicos y fosfatados (FAO, 2022a).

Aunque los precios de los fertilizantes han aumentado desde finales de 2020 debido al incremento de los precios de la energía y de los costos de transporte inducidos por la pandemia de Covid-19, la guerra en Ucrania ha afectado aún más los precios mundiales de los cereales, los fertilizantes y la energía, provocando restricciones en el abastecimiento de combustible y una mayor inflación de los precios de los alimentos, ya que la energía es un insumo clave para la producción agrícola, con canales directos, como el combustible, e indirectos como los productos químicos, los fertilizantes y la electricidad (FAO, FIDA, UNICEF, WFP, WHO, 2022). Esto plantea numerosas amenazas a la productividad agrícola, especialmente para aquellos países de ingresos medianos-bajos y bajos que dependen en gran medida de fertilizantes importados de Rusia y Ucrania (WFP, 2022a).

Además, los efectos de la pandemia de Covid-19 y las respuestas relacionadas provocaron un aumento en la inseguridad alimentaria y tasas de pobreza, y los shocks posteriores relacionados con la guerra de Ucrania y los desafíos climáticos en diferentes subregiones de América Latina y el Caribe (LAC) han mantenido estos niveles relativamente altos, que no han vuelto a niveles anteriores a la pandemia (IFPRI, 2024).

Ecuador es uno de los países más afectados a nivel mundial por su dependencia de fertilizantes importados, ocupando el puesto número 9 en la lista de países más dependientes de importaciones de fertilizantes desde Rusia (FAO, 2022a). Como importador neto de fertilizantes, se estima que aproximadamente el 99.5% del total de fertilizantes que se comercializan en el país provienen del extranjero

(ICEX, 2018). Las importaciones de Ecuador de fertilizantes que provienen de Rusia ascienden a un 55.9%, de China a 36.3%, de Estonia a 3.9%, Estados Unidos 2.4% e Italia 1.4% en el acumulado del total de importaciones para el periodo de 2012 a 2022 (FAO, 2022a). La crisis de fertilizantes impactó fuertemente el sector agrícola que para el año 2022 participó en 9% dentro del producto interno bruto (PIB) total y empleó al 32% de la población económicamente activa (PEA) (diciembre 2022) (World Bank, 2024a; World Bank, 2024b). Cabe destacar que el 70% de la PEA del sector agrícola corresponde a empleo en áreas rurales (FAO, 2024a). De la superficie total (12.2 millones de hectáreas), 5.1 millones de hectáreas se encuentran bajo labor agropecuaria² (permanentes, transitorios, pastos cultivados y naturales) y 7.1 millones sin uso agropecuario (montes, bosques, páramos, descanso y otros usos no agropecuarios) (INEC, 2024a). Particularmente, los pequeños productores, que son los más afectados, a pesar de ser responsables de más del 65% de la producción agrícola nacional, contribuyen tanto a la producción para el consumo nacional como para la exportación (FAO, 2024a).

La crisis de fertilizantes, aunada a la crisis global de alimentos, ha tenido consecuencias en la seguridad alimentaria en Ecuador. Además, existen factores que contribuyen directa o indirectamente a un incremento de la vulnerabilidad social y económica de la población. Ecuador mostró un crecimiento positivo del PIB antes de la crisis de Covid-19, lo que resultó en una relativa disminución de la pobreza y en una mayor inversión pública. Sin embargo, como resultado del Covid-19, la guerra en Ucrania y los incrementos en inseguridad, la tasa de pobreza aumentó del 21.5% en 2017 al 25.2% en 2022, mientras que la pobreza extrema pasó del 7.9% al 8.2%, con notables diferencias entre las zonas rurales y urbanas (WFP, 2024). De igual manera, la inflación anual pasó de 0.13% en 2021 a 3.5% en 2022 (World Bank, 2024c). Factores ambientales y climáticos, como eventos climáticos extremos y degradación ambiental, incrementan la propensión a sufrir desastres naturales (WFP, 2022). Ecuador es susceptible a varias amenazas naturales como inundaciones, deslizamientos de tierra, sequías y terremotos (World Bank, 2021). Aproximadamente el 48% del país está afectado por la erosión del suelo en diferentes grados, y la zona más afectada es la región andina (MAG - CGINA - DGGA, 2022).

El objetivo de este estudio es analizar los riesgos creados por la crisis de fertilizantes en Ecuador, especialmente teniendo en cuenta su alta dependencia de fertilizantes importados y las medidas adoptadas para mitigar la situación. Con este fin, realizamos una caracterización de la crisis para Ecuador (Apartado 3.1.), que incluye indicadores como uso de suelo, intensidad de uso de fertilizantes, dependencia de importaciones de fertilizantes y evolución de precios. Posteriormente, mediante el análisis cuantitativo

² Cultivos permanentes son aquellos cultivos que tienen un prolongado período de producción que permite varias cosechas durante algunos años. Cultivos transitorios son los cultivos cuyo ciclo vegetativo o de crecimiento es generalmente menor a un año, llegando incluso a ser de unos pocos meses (INEC, 2024b).

y cualitativo de datos como producción, consumo, e indicadores socioeconómicos, analizamos riesgos económicos en la producción (Apartado 3.2.1), riesgos sociales, incluyendo indicadores de pobreza e inseguridad alimentaria (Apartado 3.2.2), y riesgos políticos (Apartado 3.2.3). Concluimos con una discusión acerca de acciones prioritarias y futuras líneas de investigación.

Crisis mundial de fertilizantes

El Covid-19 provocó una menor demanda de combustibles y menores flujos de exportación en dos etapas: 2020 con precios bajos y 2021 con el aumento de los precios del petróleo y el gas. La guerra en Ucrania amplió la volatilidad de los mercados agrícolas, afectando a la oferta global de cereales y generando un incremento de los precios internacionales de fertilizantes y de energía, principalmente en el precio de gas (insumo base para la producción de fertilizantes). Esto se ha evidenciado en una contracción de la demanda global de productos alimenticios, limitaciones de capacidad y cuellos de botella en las cadenas de producción. Rusia y Ucrania aportan el 41% del comercio de potasio y el 25% de los fertilizantes nitrogenados (World Bank, 2022). Además, Rusia exporta pequeños volúmenes de fosfato. Adicionalmente, Rusia tiene una participación significativa en el mercado de gas natural, y las sanciones impuestas a sus exportaciones generaron una oferta global reducida y un incremento sustancial en el precio de gas. Es importante mencionarlo debido a que el gas natural es esencial en la producción de fertilizantes a base de nitrógeno (el gas representa alrededor del 80% de los costos de producción de la urea), los precios mundiales de fertilizantes están vinculados a los precios globales de gas natural. Así los precios de la energía aumentaron notablemente: el gas, aumentó un 300% en Europa y un 90% en Estados Unidos durante 2022 (Pescatori y Stuermer, 2022).

METODOLOGÍA

Este estudio analiza riesgos resultantes de la crisis de fertilizantes en Ecuador. Este artículo se basa en revisión de literatura y análisis estadístico de datos históricos de producción, consumo, e indicadores socioeconómicos. Datos relacionados con la superficie plantada y cosechada de productos agrícolas han sido recabados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (INEC, 2024a) que es la principal fuente de información oficial sobre el sector agropecuario ecuatoriano. La metodología utilizada para la ESPAC contempla la segmentación de la superficie total del país por estratos basados en intensidad de actividad agropecuaria, los cuales son divididos en Segmentos de Muestreo (SM), cuya superficie varía de acuerdo con el estrato. Adicionalmente, se combina un directorio de las principales explotaciones dedicadas a los diferentes cultivos representativos para el país (INEC, 2024b).

Adicionalmente, para comprender procesos que afectan directa o indirectamente a la agricultura, incluimos indicadores socioeconómicos obtenidos de diferentes bases de datos como FAO y Banco Mundial (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de indicadores socioeconómicos y de producción

Indicador	Descripción	Fuente
Prevalencia de desnutrición (% de la población)	La población ubicada por debajo del nivel mínimo de consumo alimenticio de energía, muestra el porcentaje de la población cuya ingesta de alimentos no alcanza para satisfacer sus requisitos alimenticios de energía de manera continua.	World Bank, 2024d, basado en datos de FAO
Prevalencia de inseguridad alimentaria severa en la población (%)	El porcentaje de personas de la población que viven en hogares clasificados como con inseguridad alimentaria grave. Un hogar se clasifica como inseguro alimentario grave cuando al menos un adulto del hogar ha informado haber estado expuesto, en ocasiones durante el año, a varias de las experiencias más graves descritas en las preguntas de la FIES, como haberse visto obligado a reducir la cantidad de comida, haberse saltado comidas, haber pasado hambre o tener que pasar un día entero sin comer por falta de dinero u otros recursos.	World Bank, 2024e basado en datos de FAO

Prevalencia de inseguridad alimentaria moderada o severa en la población (%)	El porcentaje de personas de la población que viven en hogares clasificados como con inseguridad alimentaria moderada o grave. Un hogar se clasifica en inseguridad alimentaria moderada o grave cuando al menos un adulto del hogar ha informado haber estado expuesto, en ocasiones durante el año, a dietas de baja calidad y podría haberse visto obligado a reducir también la cantidad de alimentos que normalmente consumiría por falta de dinero u otros recursos.	World Bank, 2024f basado en datos de FAO
Pobreza y pobreza extrema en la población (%)	Evolución del porcentaje de personas que padecen pobreza o pobreza extrema.	INEC, 2024d.
Precios internacionales de fertilizantes	Evolución de los precios internacionales de fertilizantes urea, potasio y fosfatos.	World Bank, 2024g.
Precios de fertilizantes en Ecuador	Evolución de los precios nacionales de fertilizantes urea, potasio y fosfatos.	MAG, 2024a
Inflación y IPC alimentario	Evolución de la inflación y IPC alimentario y de bebidas no alcohólicas	INEC, 2024c
Producción de cultivos permanentes y transitorios	Evolución de la producción de cultivos seleccionados la cual incluye banano, piña, caña de azúcar, maíz, tomate y papa.	MAG, 2024b
Uso de fertilizantes	Valor promedio del uso de fertilizantes, uso de fertilizantes por cultivos seleccionados.	FAO, 2024b.
Importaciones de fertilizantes	Valor FOB de las importaciones y volumen en toneladas.	UN COMTRADE, 2024

RESULTADOS

El análisis de riesgos derivados de la crisis de fertilizantes revela riesgos económicos directa e indirectamente relacionados con la producción, y riesgos sociales y políticos que se ven reflejados en el incremento de la inseguridad alimentaria a nivel nacional (Figura 1).

Figura 1. Riesgos derivados de la crisis de fertilizantes



Caracterización del sector agropecuario y la crisis de fertilizantes para Ecuador

En el Ecuador, el sector agropecuario tiene gran importancia para la economía, ya que es la principal fuente de empleo, actualmente representa el 32% de la población económicamente activa (MPCEI, 2024). La agricultura es particularmente importante para la población rural y supone una contribución media del 73.4% a la población económicamente activa (ENEMDU, 2022).

En el ámbito económico la agricultura es considerada una de las principales actividades que genera ingresos a la economía del Ecuador, con una proporción del valor agregado (% PIB) de alrededor de 8% en 2023 (World Bank, 2024a).

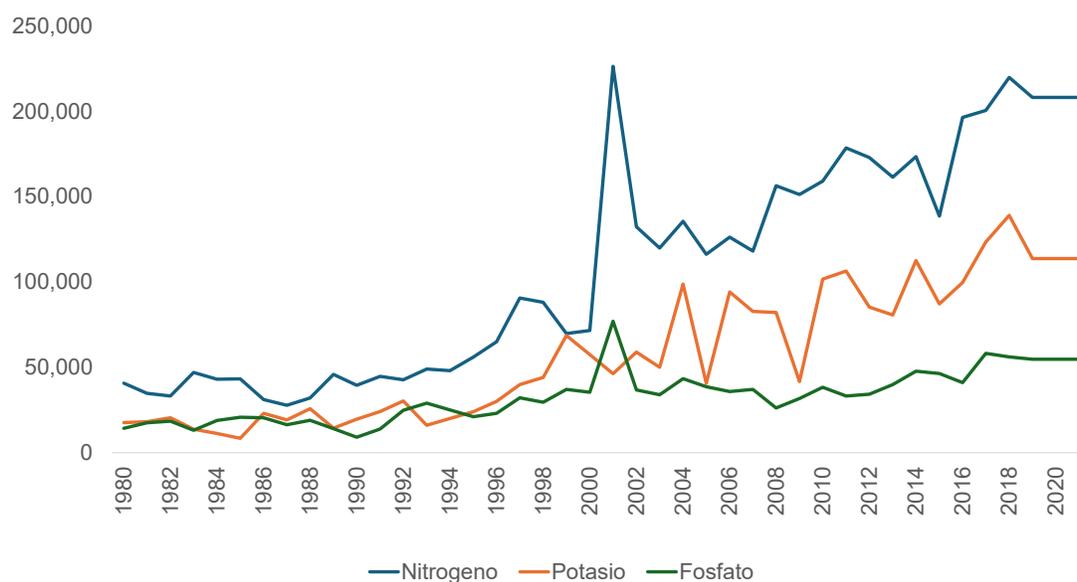
Uso de suelo en Ecuador

En 2023, la superficie total con uso de suelo fue de 12.2 millones de hectáreas, de las cuales 5.1 millones de hectáreas estaban destinadas a labores agropecuarias y 7.1 millones de hectáreas a montes, bosque, paramos y otros (INEC, 2024b). De los 5.1 millones de hectáreas de sembríos y labores agrícolas y pecuarias, la mayoría de los cultivos permanentes están concentrados en la región Costa (71.4%), seguida de la Sierra con 17.1% y la Amazonía con el 11.4% (INEC, 2024b). Una tendencia parecida es observada para cultivos transitorios; la región Costa cuenta con el 70,3% de la superficie total, seguida de la Sierra con el 25.3% y la Amazonía con el 4.4% (INEC, 2024b). En 2023³, cacao (609,750 has), banano de exportación (184,034 has), plátano (152,654 has), caña de azúcar (79,580 has), y palma africana (194,419 has) fueron los cultivos con la mayor superficie plantada. La agricultura familiar y campesina (AFC) representa el 84.5% de las Unidades de Producción Agrícolas (UPAs) y concentra alrededor del 20% de la tierra y produce la mayoría de los alimentos consumidos en el Ecuador (60%). Mientras que la agricultura empresarial, mayormente dedicadas a la agroexportación, concentra 80% de la tierra en un 15.5% de las UPAs, aunque la AFC contribuye también con la oferta de productos de exportación, por ejemplo, alrededor del 80% a la producción de cacao y 93% a la producción de café (FAO, 2024a).

Uso de fertilizantes

El uso de fertilizantes está aunado a la estrategia en materia de política agrícola en Ecuador, donde se ha dado mayor importancia a los cultivos de exportación. Así para el periodo de 1980 a 2021 el uso de fertilizantes nitrogenados registró un incremento de 412%, mientras que el uso de fertilizantes de potasio y fosfato se incrementaron en 547% y 283% respectivamente, Figura 2. Durante este periodo, se registró un incremento inusual en el uso de fertilizantes en 2001 debido al decremento de los precios internacionales; sin embargo, para 2008 el uso de fertilizantes se vio disminuido debido al incremento de precios de petróleo y gas. Estos contrastes en el uso se deben a la alta dependencia de las importaciones y sus efectos se amplían mediante la transmisión de precios internacionales sobre los costos de producción local y, al mismo tiempo, sobre la cantidad de uso de fertilizantes.

³ Incluye la suma de superficie solo por cultivo y asociada.

Figura 2. Uso de fertilizantes por tipo, 1980 a 2021 (Toneladas)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2024b.

En 2023, el uso de fertilizantes fue mayor en cultivos permanentes como la piña, el banano y la caña de azúcar, con 1,184, 810 y 379 kilogramos por hectárea respectivamente. En el caso de los cultivos transitorios, su mayor uso se concentra en papa, tomate y maíz duro, con 692, 402 y 303 kilogramos por hectárea respectivamente, para 2023. Sin embargo, es importante mencionar que los incrementos de precios internacionales de fertilizantes observados en 2022 tuvieron consecuencias en la disminución de uso de entre 20% y 28%, tanto en cultivos permanentes como en cultivos transitorios, esto debido a la alta dependencia de las importaciones de fertilizantes por parte de Ecuador, Figura 4. A medida que los precios internacionales disminuyeron, en 2023 se observaron incrementos en el uso en piña de un 28%, en banano de un 30% y en caña de azúcar de un 42%. Mientras que en cultivos transitorios, los mayores incrementos fueron observados en papa y maíz duro seco, con un 20% y un 12% respectivamente.

Figura 3. Aplicación promedio de fertilizantes por cultivos permanentes (a) y transitorios (b), en Ecuador, 2022-23 (Kg/hectárea)



Fuente: Elaboración propia con datos de MAG, 2024b.

La producción de cultivos permanentes como banano y piña se vieron afectados por la crisis de Covid-19 ya que durante 2020 se observaron decrementos que estuvieron influenciados por una demanda global reducida, incrementos en los precios de transporte marítimo y de combustibles. En 2022, la crisis de precios internacionales de fertilizantes tuvo efectos directos sobre la producción de banano con una reducción del 4%, y en caña de azúcar con un decremento estimado del 18%, lo anterior como consecuencia del incremento de los precios de los fertilizantes, Figura 4.

Figura 4. Evolución de la producción de cultivos permanentes seleccionados, 2006-2022 (Toneladas)



Fuente: Elaboración propia con datos de MAG, 2024b.

Respecto al efectos sobre los cultivos transitorios se observaron decrementos en la producción en 2022 para maíz y tomate del 6%, Figura 5. Estos decrementos estuvieron influenciados por el alto costo de los insumos y fertilizantes.

Figura 5. Evolución de la producción de cultivos transitorios seleccionados, 2006-2022 (Toneladas)

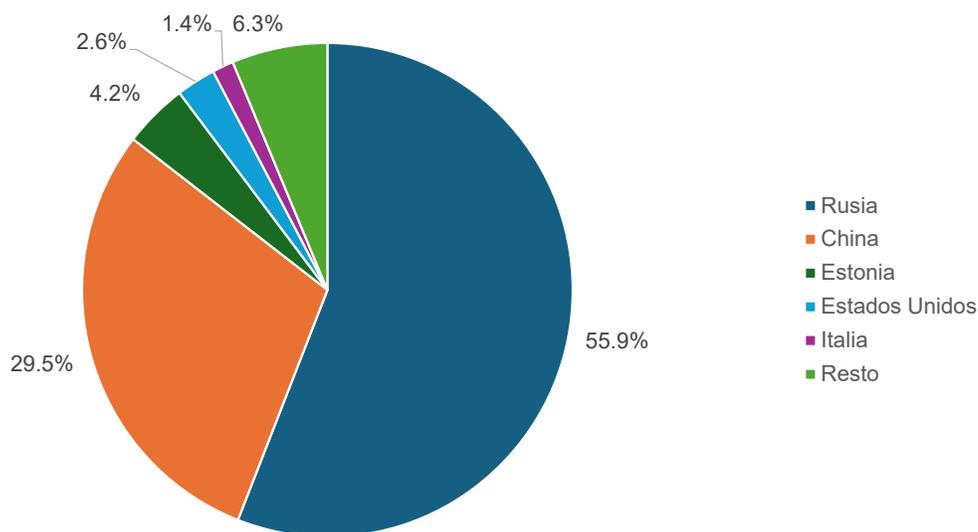


Fuente: Elaboración propia con datos de MAG, 2024b.

Dependencia de importaciones de fertilizantes en Ecuador y evolución de precios

Ecuador, históricamente ha dependido de la importación de fertilizantes debido a la falta de materia prima y a la inexistencia de una infraestructura adecuada para su producción local. Hasta la fecha, la única fuente de nutrientes con función de fertilizantes en el país ha sido la producción de abonos de origen animal o vegetal, la cual se ha llevado a cabo únicamente a pequeña escala. Esta dependencia externa implica que cualquier fluctuación significativa en los precios internacionales de los fertilizantes impacta directamente en los costos de producción agrícola y, por ende, en los precios de los alimentos. Esto es especialmente relevante si consideramos que los fertilizantes constituyen entre el 10% y el 30% de los costos de producción a nivel nacional (Llive, 2016). Para el periodo de 2017 a 2022 se importaron 5.1 billones de toneladas y cinco países concentraron el 93% de las importaciones ecuatorianas de fertilizantes nitrogenados, Rusia aportó para este periodo un 55.9% del total, mientras que China aportó un 29.5%, Estonia, Estados Unidos e Italia contribuyeron con un 8.2% y el resto de países contribuyó con un 6.3%, Figura 6.

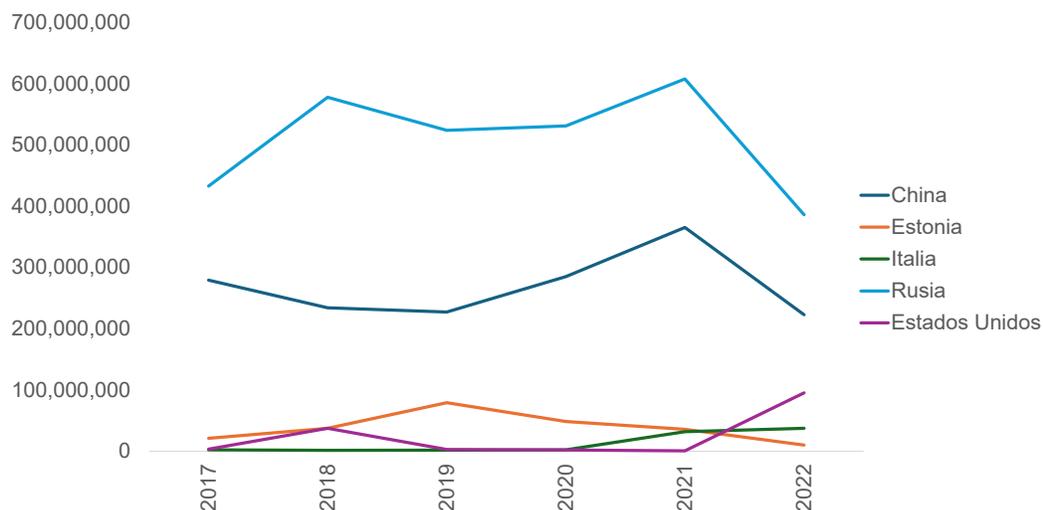
Figura 6. Distribución porcentual de principales países proveedores de fertilizantes nitrogenados a Ecuador (2017-2022)



Fuente: Elaboración propia con datos de UN COMTRADE, 2024.

En 2022, las importaciones de Ecuador provenientes de Rusia y China disminuyeron en 36% y 39% respectivamente, como resultado de la guerra en Ucrania y de las restricciones de exportación impuestas a Rusia y las restricciones que impuso el gobierno de China a las exportaciones de fertilizantes para asegurar la oferta a nivel país. Mientras que para ese mismo año las importaciones provenientes de Italia y Estados Unidos se incrementaron sustancialmente, pero sin cubrir lo que dejaron de proveer los primeros dos países.

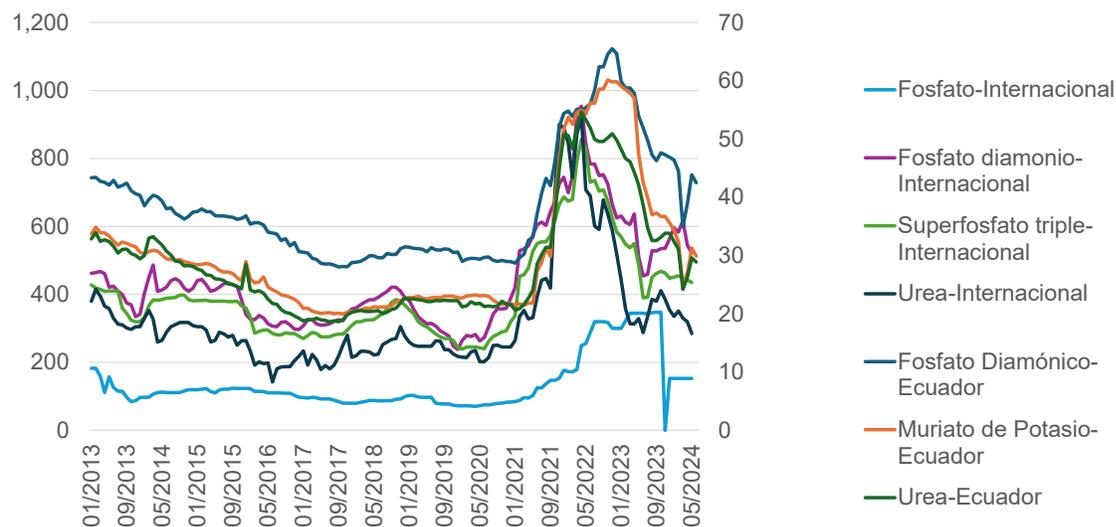
Figura 7. Evolución de las importaciones de fertilizantes nitrogenados de Ecuador (Toneladas)



Fuente: Elaboración propia con datos de UN COMTRADE, 2024.

Los precios internacionales de combustibles comenzaron a incrementarse en 2020, y el precio de gas experimentó un aumento sustancial debido a la guerra en Ucrania. Esto provocó efectos sobre los precios de los fertilizantes por dos vías: i. la oferta limitada de gas encareció el principal insumo para la producción de fertilizantes; ii. ante las restricciones que se impusieron a Rusia para la exportación de gas y fertilizantes, países como China e India decidieron limitar sus exportaciones para favorecer su uso interno, Figura 9. Así los precios internacionales de urea aumentaron en más del 100%, tendencia que se mantuvo hasta septiembre de 2022. Esta misma tendencia se mantuvo también en los precios internacionales de fertilizantes fosfatados hasta octubre de 2022. A partir de octubre de 2022, los precios internacionales continuaron una tendencia a la recuperación, pero es importante mencionar que los precios internacionales no volvieron a los niveles observados previos a Covid-19. Mientras que los precios nacionales en Ecuador siguieron la tendencia generada por los precios de fertilizantes a nivel internacional, la transmisión de precios fue inmediata y se observaron incrementos de hasta 145% en el precio de la urea, que se estabilizaron hasta diciembre de 2022. Por su parte, los precios de fosfato diamónico y los de muriato de potasio alcanzaron sus niveles más altos en los primeros meses de 2022 y mantuvieron una lenta recuperación hasta mayo de 2023, Tabla 2.

Figura 8. Evolución de los precios internacionales y nacionales, 2013-2024



Fuente: Elaboración propia con datos de World Bank, 2024g, MAG, 2024a.

Nota: 1/ Precios internacionales dólar por tonelada.

2/ Precios nacionales dólar por kilogramo.

Tabla 2. Cambio porcentual interanual de precios nacionales e internacionales, 2021-2023

Mes	Fosfato diamónico-Ecuador	Muriato de Potasio-Ecuador	Urea-Ecuador	Fosfato-Internacional	Fosfato diamonio-Internacional	Superfosfato triple-Internacional	Urea-Internacional
Enero 2022	91%	150%	145%	104%	66%	100%	219%
Febrero 2022	82%	142%	131%	96%	41%	50%	122%
Marzo 2022	82%	154%	140%	86%	76%	73%	147%
Abril 2022	68%	151%	141%	163%	76%	79%	182%
Mayo 2022	67%	149%	121%	149%	47%	57%	113%
Junio 2022	51%	106%	82%	130%	30%	33%	75%
Julio 2022	44%	95%	66%	156%	28%	33%	36%
Agosto 2022	44%	87%	58%	134%	24%	27%	32%
Septiembre 2022	49%	96%	58%	117%	17%	23%	62%
Octubre 2022	40%	54%	36%	115%	8%	9%	-8%
Noviembre 2022	26%	28%	13%	96%	-8%	-6%	-35%
Diciembre 2022	19%	16%	-2%	70%	-16%	-15%	-42%
Enero 2023	9%	10%	-5%	73%	-10%	-16%	-48%
Febrero 2023	9%	11%	-4%	87%	-18%	-19%	-52%
Marzo 2023	7%	6%	-11%	93%	-35%	-32%	-64%
Abril 2023	6%	4%	-19%	38%	-33%	-36%	-66%
Mayo 2023	-3%	-13%	-21%	35%	-39%	-41%	-53%
Junio 2023	-7%	-24%	-25%	20%	-42%	-47%	-58%
Julio 2023	-15%	-29%	-30%	7%	-41%	-47%	-44%

Fuente: Elaboración propia con datos de World Bank, 2024e, MAG, 2024a.

Análisis de riesgos económicos, sociales y políticos

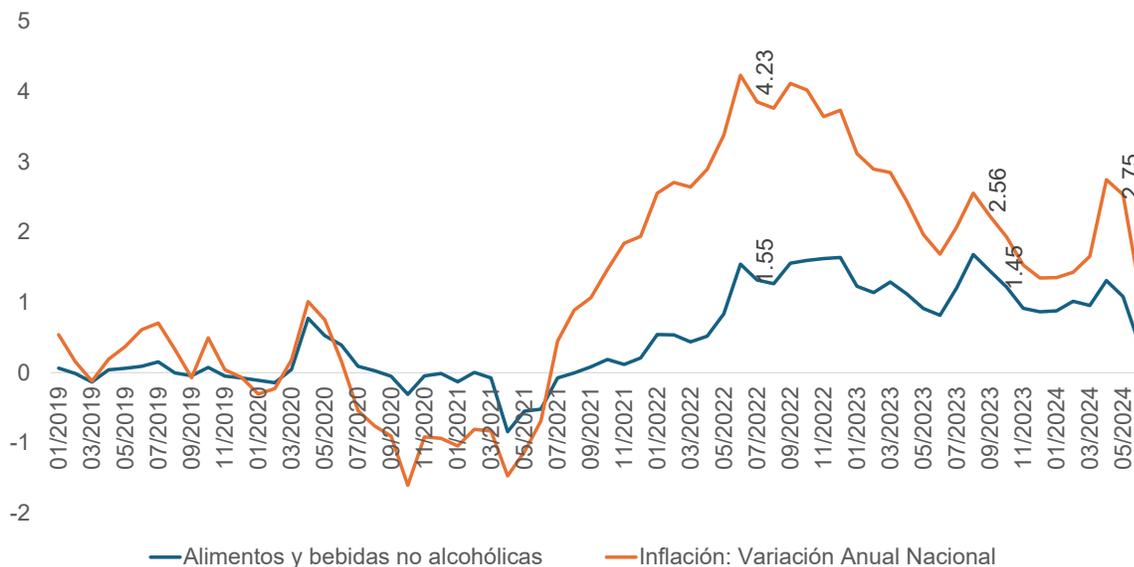
Riesgos económicos

Producción

El impacto en los precios de los fertilizantes afectó directamente a los costos de producción y por ende a los precios de los alimentos. Los cultivos de mayor demanda de fertilizantes sufrieron decrementos en su uso de hasta un 42%, ver sección 3.1.2. En consecuencia, se produjeron efectos sobre los volúmenes de cosecha: por ejemplo, la producción de caña de azúcar se redujo en un 32%, la de banano en un 9%, mientras que la de maíz y tomate sufrieron reducciones del 6%. Esta misma tendencia sufrieron varios productos que componen la canasta básica alimentaria, (INEC, 2024c).

Inflación

En 2022, el crecimiento en los precios de insumos agrícolas y fertilizantes generó presiones en el sector productivo ecuatoriano, incidiendo en el precio del consumidor y, por lo tanto, en los niveles de inflación. De julio de 2020 a julio de 2021, se observaron cambios porcentuales promedio de -0.86 puntos. Para el periodo de agosto de 2021 se observó una tendencia creciente, alcanzando su mayor cambio en junio 2022 con 4.2 puntos.

Figura 9. IPC general e IPC alimentario, 2019-2024 (Variación porcentual anual)

Fuente: Elaboración propia con datos de INEC, 2024c.

Los alimentos constituyen el 32.03% de los productos de la canasta del IPC y representan el 22.45% de la ponderación del índice (Bunce y Yacelga, 2023). Esta división es sensible a cambios en los precios por fenómenos climáticos, producción estacional, entre otros. Así, la división de alimentos y bebidas no alcohólicas fue el principal factor que contribuyó al incremento de la inflación. A partir de julio de 2021, el IPC alimentario presentó una tendencia al alza que se extendió hasta diciembre de 2022, como consecuencia de los incrementos de costos de producción y combustibles, ambos esenciales para la producción y distribución de los alimentos, Figura 9.

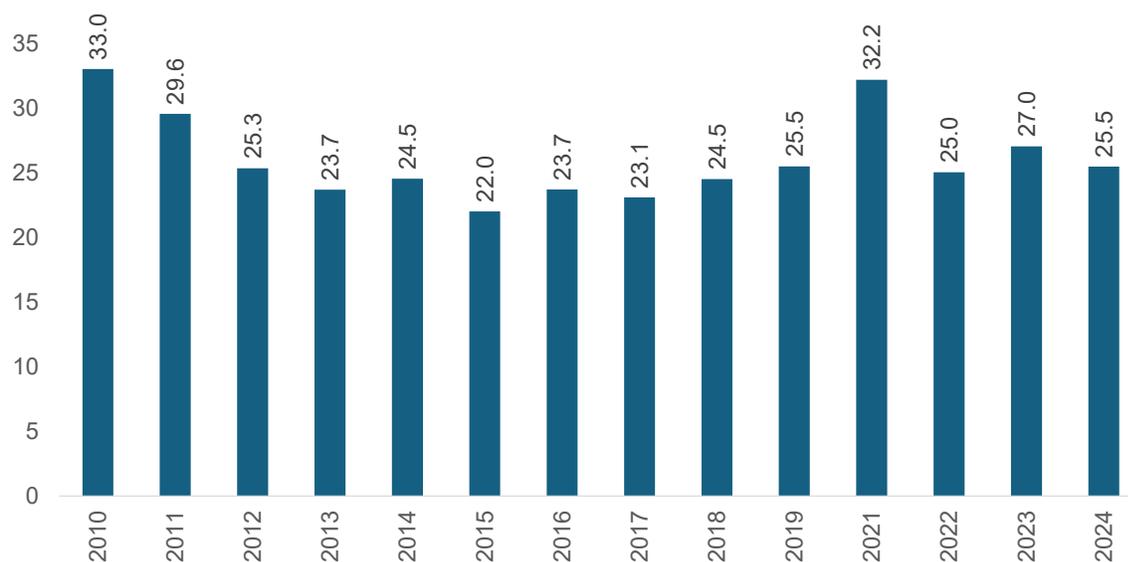
Riesgos sociales

Pobreza

Entre 2010 y 2019, la pobreza en Ecuador disminuyó en 7.5 puntos porcentuales. Sin embargo, la pandemia de Covid-19 revirtió parte de este progreso, provocando un aumento de la pobreza de 6.7 puntos

porcentuales entre 2019 y 2021, lo que situó los niveles de pobreza cerca de los registrados en 2010. Para 2022, se observó una significativa reducción de 7.2 puntos porcentuales, resultado de la recuperación postpandemia, la implementación de subsidios y la reactivación de la economía ecuatoriana. No obstante, en 2023, el incremento en los precios internacionales de combustibles, fertilizantes y otros insumos productivos elevó los costos de producción en el sector agrícola, afectando la estructura productiva y contribuyendo al aumento de la incidencia de la pobreza, Figura 10.

Figura 10. Evolución porcentual de la pobreza a junio 2010-2024



Fuente: Elaboración propia con datos de INEC, 2024d.

Notas: 1/ Para junio 2024, se considera a una persona pobre por ingresos si percibe un ingreso familiar per cápita menor a USD 91.55 mensuales y pobre extremo si percibe menos de USD 51.60.

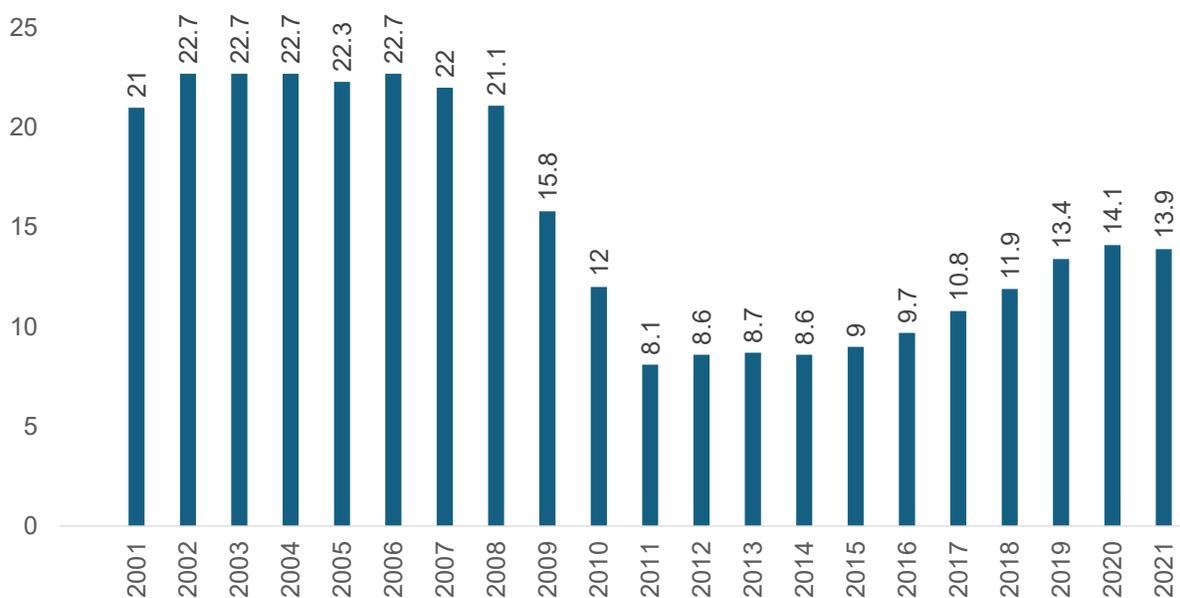
2/Pobreza con corte a junio.

Seguridad alimentaria

La prevalencia de desnutrición observó dos tendencias para el periodo de análisis, en el primero comprendido entre 2001 y 2011, la desnutrición disminuyó al pasar de 21 a 8.1 puntos porcentuales. En el

segundo periodo, de 2012 a 2021 se observa un aumento de desnutrición, al pasar de 8.6 a 13.9 puntos porcentuales. Es importante mencionar que antes de Covid-19 la prevalencia de desnutrición se estimaba en 13.4%, en 2020 resultado de los efectos la pandemia este indicador paso a 14.1%, lo que supuso un ligero incremento, sin embargo, para 2021 este decreció ligeramente en 0.2%. Como resultado de la crisis de precios internacionales de fertilizantes en 2022, los efectos de Covid-19, y la base estructural de pobreza, así como los actuales niveles de inseguridad provocaron un incremento de la prevalencia de desnutrición de 17% (World Bank, 2023).

Figura 11. Porcentaje de la prevalencia de desnutrición del total de la población, 2001-2021

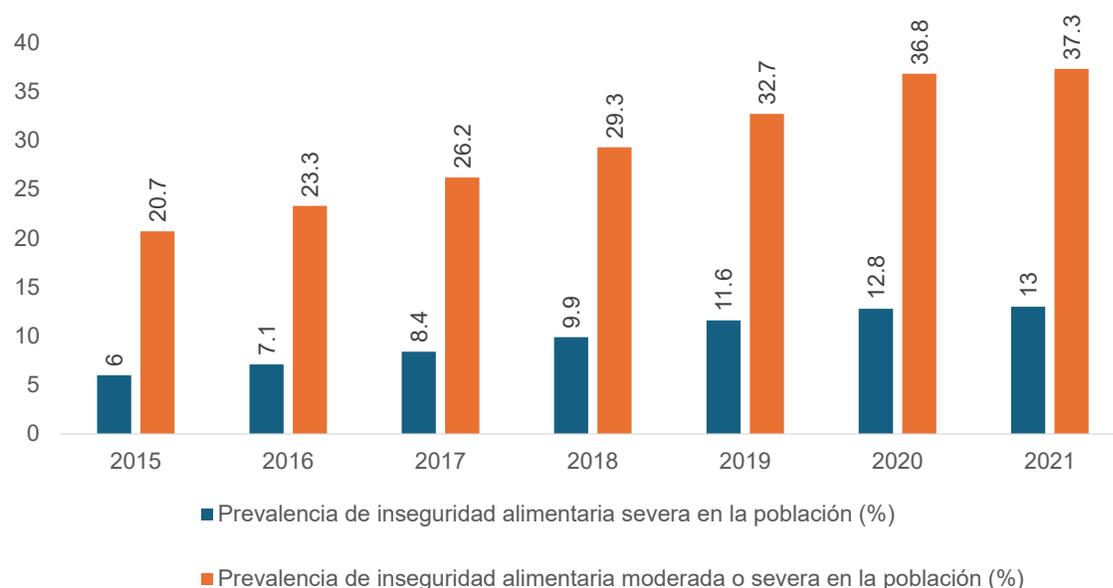


Fuente: Elaboración propia con datos de World Bank, 2024d.

Los niveles de inseguridad alimentaria se incrementaron 16.6 puntos porcentuales para el periodo de 2015 a 2021. Asimismo, esta misma tendencia siguió la inseguridad alimentaria severa, que aumentó en 7 puntos porcentuales para el mismo periodo. En particular, se estima que la prevalencia de la inseguridad alimentaria severa aumentó en un 1.2% entre 2019 y 2020, mientras que la suma de moderada a severa lo hizo en 4.2%, esto como consecuencia del Covid-19. Para 2021, ambos indicadores sufrieron

aumentos ligeros menores al 1%. En 2022 se estima que la inseguridad alimentaria creció debido a la crisis de precios de fertilizantes, así como a factores de inseguridad y crisis climática, Figura 12.

Figura 12. Porcentaje de prevalencia de inseguridad alimentaria severa y moderada-severa en el total de la población, 2015-2021



Fuente: Elaboración propia con datos de World Bank, 2024e.f.

Riesgos políticos

Las dificultades económicas derivadas de la crisis de fertilizantes pueden generar tensiones sociales, especialmente en áreas rurales. De igual manera, la estabilidad política puede verse afectada por la falta de estabilidad social, como ha sido observado en varias regiones del mundo (Soffiantini, 2020). La crisis alimentaria detallada en secciones anteriores, y la respuesta a la crisis dieron lugar a manifestaciones y una huelga en Ecuador en junio de 2022, cuando la Confederación Nacional de Indígenas (CONAIE), organizaciones campesinas y otros grupos de la sociedad civil marcharon hacia Quito, Ecuador, para demandar un menor precio de la gasolina y el diésel, especialmente por sus efectos en la producción de alimentos, y la limitación de la expansión extractivista por su afectación al ambiente y a los medios

de vida de las comunidades afectadas por estas actividades (CARE, 2022; BBC, 2022). Las protestas concluyeron con una rebaja en el precio del combustible subsidiado y otras medidas relacionadas con un freno a actividades extractivistas en áreas naturales protegidas, zonas intangibles, áreas de recarga hídrica y territorios ancestrales de pueblos indígenas (BBC, 2022). El riesgo político y la vulnerabilidad social se han visto incrementados por una alta incertidumbre política agravada por el crimen organizado, narcotráfico y corrupción. Esta situación alcanzó su punto más crítico en enero de 2024, en medio de un conflicto armado interno y crisis social y económica, como consecuencia, el riesgo país se situó alrededor de 2,000 puntos (BCE, 2024).

PRIORIDADES DE ACCIÓN Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Priorización de acciones

La dependencia de Ecuador en la importación de insumos agrícolas, especialmente fertilizantes, sumada a la importancia del sector agrícola en la generación de empleo y su impacto en la economía, expone al país a vulnerabilidades significativas frente a shocks exógenos en la economía mundial. En este contexto, se identifican las siguientes prioridades de acción:

- Diversificación de las fuentes de suministro de fertilizantes: La elevada dependencia de Ecuador de un número limitado de proveedores internacionales hace que la economía agrícola del país sea vulnerable a fluctuaciones en los precios globales y a posibles interrupciones en la cadena de suministro. Es crucial diversificar las fuentes de importación, estableciendo acuerdos estratégicos con nuevos proveedores como Chile, Italia y Canadá. Esta diversificación ayudaría a mitigar riesgos de escasez y a estabilizar los precios de los fertilizantes (Bunce y Yaselga, 2023).
- Fomento de la producción local de fertilizantes y bioinsumos: A largo plazo, es esencial impulsar la producción local de fertilizantes, incluyendo bioinsumos. Este enfoque reduciría la dependencia de las importaciones y promovería prácticas agrícolas más sostenibles y ecológicas. Iniciativas como la Política de Estado para el Sector Agropecuario Ecuatoriano 2020-2030 y el Pacto Nacional por la Bioeconomía apoyan este enfoque, enfatizando la producción de bioinsumos y el control del uso intensivo de insumos agroquímicos (Gobierno de Ecuador, 2021; Planifica Ecuador, 2019). Además, se debe fomentar la producción de fertilizantes orgánicos y el manejo de nutrientes adaptados a las características del suelo, como parte de una estrategia de agricultura regenerativa.
- Implementación de subsidios eficientes y temporales: Aunque los subsidios a corto plazo han sido una respuesta necesaria para mitigar el impacto inmediato de los altos precios de los fertilizantes,

es fundamental que estos sean temporales y estén diseñados para beneficiar a los pequeños productores. El gobierno de Ecuador ha implementado subsidios del 50% para la compra de urea, con un costo total de USD 27 millones entre julio y diciembre de 2022 (MAG, 2022). Sin embargo, a medida que el mercado se estabiliza, se debe transitar hacia un régimen de libertad vigilada de precios, como se hizo tras la crisis de 2008, cuando el Régimen de Control Directo de Precios fue reemplazado por un sistema más flexible, permitiendo la libre determinación de precios con la obligación de reportarlos al Ministerio de Agricultura y Pesca (Llive Condor, 2016).

- Fortalecimiento de la infraestructura para almacenamiento y distribución de insumos agrícolas: Para garantizar un acceso continuo y a precios razonables de insumos agrícolas, es crucial invertir en la infraestructura de almacenamiento y distribución. Mejorar la infraestructura de transporte y crear almacenes regionales contribuirá a la estabilidad en la oferta de fertilizantes y otros insumos, reduciendo así la vulnerabilidad del sector a shocks externos.

Futuras líneas de investigación

Para abordar los desafíos estructurales del sector agrícola ecuatoriano y aumentar su resiliencia ante futuras crisis, se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Innovación en la producción sostenible de fertilizantes y bioinsumos: La investigación en la producción de fertilizantes orgánicos y bioinsumos bajo principios de economía circular debe ser una prioridad. Esto incluye explorar procesos de biorrefinería donde los residuos agrícolas se transformen en fertilizantes y otros productos de base biológica. Proyectos como el aprovechamiento material y energético de residuos de biomasa, respaldados por el Pacto por la Economía Circular, son ejemplos clave de cómo estos residuos pueden reutilizarse de manera eficiente (SENESCYT, 2014; MPCEIP, 2021).
- Digitalización y mapeo de suelos: El desarrollo y actualización de mapas digitales de suelos utilizando tecnologías avanzadas es esencial para una gestión precisa y eficiente de los insumos agrícolas. Estas herramientas permiten optimizar el uso de fertilizantes, adaptándolos a las necesidades específicas de cada región y reduciendo el impacto ambiental. La colaboración entre la Alianza de Biodiversidad Internacional, el CIAT y el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador ha resultado en la creación de un mapa digital de fertilidad química de los suelos del Ecuador continental, que es un ejemplo significativo de este enfoque (CIAT, 2022).
- Estudios interdisciplinarios sobre seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental: La integración de conocimientos de diversas disciplinas es crucial para abordar de manera integral los desafíos de

la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la adaptación al cambio climático. La investigación debe enfocarse en prácticas agrícolas tradicionales como la rotación de cultivos y el uso de abonos verdes, que han demostrado ser efectivas para mejorar la calidad del suelo y aumentar la resiliencia agrícola (Basantes Morales, 2015; DLEPS, 2022).

- Evaluación de políticas agrícolas y su impacto a largo plazo: Es necesario llevar a cabo evaluaciones exhaustivas de las políticas agrícolas implementadas, como los subsidios y los controles de precios, para comprender sus efectos a largo plazo en la producción agrícola y en la seguridad alimentaria. Estas evaluaciones deben incluir análisis de costos-beneficios y estudios de caso para identificar las mejores prácticas y áreas de mejora (MAG, 2022).
- Reversión de la tendencia de reducción en la inversión en investigación agrícola: Es crucial aumentar la inversión en investigación agrícola, que ha disminuido casi a la mitad entre 2015 y 2020 (IDB, 2023). Invertir en investigación permitirá el desarrollo de tecnologías innovadoras y prácticas agrícolas sostenibles, fortaleciendo la resiliencia del sector ante futuras crisis.

Estas prioridades de acción y líneas de investigación ofrecen un marco integral para fortalecer el sector agrícola en Ecuador, haciéndolo más resiliente a shocks externos y sostenible a largo plazo.

CONCLUSIONES

Ecuador es uno de los países más afectados a nivel mundial debido a su alta superficie plantada, su dependencia de fertilizantes y la falta de infraestructura para su producción. Las lecciones aprendidas de las crisis alimentarias como la del 2007/08 y 2010/11, y la más reciente, la de 2020/2022, recalcan la necesidad de promover estrategias para la diversificación de la producción de insumos agrícolas y orgánicos locales que contribuyan a disminuir la dependencia de Ecuador de las importaciones de fertilizantes.

La crisis de precios de fertilizantes aunadas a la intensificación de otros factores que impulsan la inseguridad alimentaria (conflictos, extremos climáticos y crisis económicas), combinada con el alto costo de los alimentos nutritivos y las crecientes desigualdades, seguirá desafiando la seguridad alimentaria. Es necesario considerar estrategias para abordar nuevas formas de producción y la aplicación de tecnologías bajo principios de economía circular. Para ello, es necesario establecer requisitos a través de mapas de suelos, asistencia técnica y seguimiento de cultivos. Es de crucial importancia recolectar experiencias, capacidades y conocimientos para que, de manera conjunta, la academia, la empresa privada, la sociedad civil, los sectores productivos y el sector público abran el diálogo y busquen alternativas adaptadas al contexto nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Abay, K. A., Breisinger, C., Glauber, J., Kurdi, S., Laborde, D., Siddig, K. 2023. “The Russia-Ukraine war: Implications for global and regional food security and potential policy responses”, *Global Food Security*, 36: 100675. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100675>
- Banco Central del Ecuador BCE. 2024. “Informe de Evolución de la Economía Ecuatoriana en 2023 y Perspectivas 2024”. Disponible en https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Administracion/EvolEconEcu_2023pers2024.pdf
- Basantes Morales, E.R. 2015. “Manejo de Cultivos Andinos del Ecuador”. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Disponible en <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- BBC. 2022. “Protestas en Ecuador: finaliza el paro tras un acuerdo entre el gobierno y el movimiento indígena”. Disponible en <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-62005086>
- Bunce A., Yaselga E. 2023. “La relación entre el precio de los fertilizantes y la inflación en el Ecuador”. *Revista Cuestiones Económicas*, 33(2). Banco Central de Ecuador. Disponible en <https://orcid.org/0009-0003-4239-7499>
- Care. 2022. “Global Hunger Crisis: Guatemala, Honduras, and Ecuador. Brief was written by Miriam Selva in July 2022”. Disponible en <https://reliefweb.int/report/guatemala/global-hunger-crisis-guatemala-honduras-and-ecuador>
- CIAT. 2022. “El Mapa Digital de Fertilidad Química de los Suelos del Ecuador ganó premio internacional”. Press and News, November 24, 2022. Disponible en <https://alliancebioversityciat.org/es/stories/el-mapa-digital-de-fertilidad-quimica-de-los-suelos-del-ecuador-gano-premio-internacional>
- DLEPS. 2022. “Documento de sistematización de diálogos de mujeres en Cotopaxi, Chimborazo, Azuay y Bolívar en Ecuador”. Consorcio HELVETAS Swiss Intercooperation - Fundación Avina, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE y Proyecto Andes Resilientes al Cambio Climático. *Ecuador*. Pág. 45. Disponible en <https://www.adaptacioncc.com/sites/default/files/2022-03/Saberes%20ancestrales%20de%20mujeres%20rurales%20frente%20al%20cambio%20climático%20como%20potenciadores%20de%20pol%C3%ADticas%20para%20la%20agricultura%20familiar%20campesina%20.pdf>
- FAO. 2022a. “The Importance of Ukraine and the Russian Federation for Global Agricultural Markets and the Risks Associated with the War in Ukraine”, *Executive Summary*. Disponible en <https://www.fao.org/3/cb9013en/cb9013en.pdf>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. 2022. “The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable”, *Rome, FAO*. Disponible en <https://doi.org/10.4060/cc0639en>

- FAO. 2024a. “Ecuador en una mirada”. Disponible en <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>
- FAO. 2024b. „El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024”. Recuperado de <https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world/es>
- FAO. 2024c. “Uso de Fertilizantes”. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>
- Gobierno de Ecuador. 2021. “Decreto 1293 que expide la política de Estado para el sector agropecuario de Ecuador 2020-2030”. Disponible en https://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2021/04/Decreto_Ejecutivo_No._1293_20210322130204.pdf
- IDB. 2023. “Agricultural R&D Indicators Factsheet. Ecuador”. Disponible en <https://www.asti.cgiar.org/pdf/factsheets/Ecuador-Factsheet-2023.pdf>
- ICEX. 2018. “Fertilizantes en Ecuador”. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Quito. Recuperado de <https://www.icex.es/icex/GetDocumento?dDocName=DOC2018>
- IFPRI. 2024. “Global Food Policy Report”. Disponible en <https://gfpr.ifpri.info>
- INEC. 2024a. “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua”. Disponible en https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf
- INEC. 2024b. “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)”. Boletín técnico. Abril, 2024. Disponible en https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf
- INEC. 2024c. “Inflación y IPC alimentario”. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/precios/>
- INEC. 2024d. “Indicadores de pobreza”. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/pobreza-por-ingresos/>
- Llive Condor, F. M. 2016. “Vulnerabilidad y dependencia internacional de fertilizantes en el Ecuador”. Revista Tecnológica ESPOL, 29(2): 68-88. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/542>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG. 2022. “Agricultores pagarán el 50 % del costo comercial del saco de urea”. Disponible en <https://www.agricultura.gob.ec/agricultores-pagaran-el-50-del-cost-comercial-del-saco-de-urea/#:~:text=saco%20de%20urea-,Agricultores%20pagarán%20el%2050%20%25%20del%20costo%20comercial%20del%20saco%20de,20%20de%20julio%20de%202022.>
- Ministerio de agricultura y Ganadería MAG. 2024a. “Precios de insumos agroquímicos”. Disponible en <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/insumos-agroquimicos>
- Ministerio de agricultura y Ganadería MAG. 2024b. “Producción de cultivos permanentes y transitorios”. Disponible en <https://sipa.agricultura.gob.ec/>

- MAG - CGINA - DGGGA. 2022. “Mapa digital de fertilidad química de los suelos del Ecuador continental, 2022”. *MAG, Alianza Bioersity International y CIAT* / Con el apoyo de: SERVIR - Amazonia, USAID, NASA y Ecociencia. Quito, Pichincha, Ecuador. Disponible en <http://geoportal.agricultura.gob.ec>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca MPCEIP. 2021. “Libro Blanco de la Economía Circular de Ecuador”. Disponible en https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca MPCEIP. 2024. “Boletín de cifras del sector productivo. Marzo 2024”. Disponible en https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/VFBoletinProduccion_MARZO2024.pdf
- Pescatori, A, Stuermer, M. 2022. “The world has gone from plentiful cheap energy to scarcity, amid low investment and war”. IMF’s Research Department. Disponible en <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2022/12/from-abundance-to-thirst-Pescatori-Stuermer>
- Planifica Ecuador. 2019. “Informe de Avance del Cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. Disponible en <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/07/Informe-Avance-Agenda-2030-Ecuador-2019.pdf>
- SENESCYT. 2014. “Ecuador presenta su primera biorrefinería con el cambio de la matriz energética y productiva en la mira”. *Boletín de Prensa* No. 032. Quito, 04 de febrero de 2014. Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación ejecuta el proyecto de Recursos Sostenibles para Etanol (RESETA). Disponible en <https://www.educacionsuperior.gob.ec/ecuador-presenta-su-primera-biorrefineria-con-el-cambio-de-la-matriz-energetica-y-productiva-en-la-mira/>
- Soffiantini, G. 2020. “Food insecurity and political instability during the Arab Spring”. *Global Food Security*, 26, 100400. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100400>
- UN-COMTRADE. 2024. “Importaciones de fertilizantes”. Disponible en <https://comtradeplus.un.org/>
- World Bank. 2021. “Ecuador Risk Historical Hazards. Climate Change Knowledge Portal”. Disponible en <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/ecuador/vulnerability>
- World Bank. 2022. “Commodity Markets Outlook: Pandemic, war, recession: Drivers of aluminum and copper prices, October 2022”. *World Bank*, Washington, DC. Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/38160/CMO-October-2022.pdf>
- World Bank. 2024a. “Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP) - Ecuador”. Disponible en <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=EC>
- World Bank. 2024b. “Employment in agriculture (% of total employment) (modeled ILO estimate) – Ecuador”. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/SL.AGR.EMPL.ZS?locations=EC>

- World Bank. 2024c. “Inflación, precios al consumidor (% anual)-Ecuador”. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG?locations=EC>
- World Bank. 2024d. “Prevalencia de desnutrición (% de la población) – Ecuador”. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/SN.ITK.DEFC.ZS?locations=EC>
- World Bank. 2024g. “Prevalencia de inseguridad alimentaria (% de la población)”. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/SN.ITK.MSFI.ZS?end=2021&locations=EC&start=2001&view=chart>
- World Bank. 2024g. “Prevalencia de inseguridad alimentaria severa (% de la población)”. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/SN.ITK.MSFI.ZS?end=2021&locations=EC&start=2001&view=chart>
- World Bank. 2024g. “World Bank Commodities Price Data (The Pink Sheet)”. Disponible en https://thedocs.worldbank.org/en/doc/5d903e848db1d1b83e0ec8f744e55570-0350012021/related/CMO-Pink-Sheet-August-2024.pdf?_gl=1*nk5on3*_gcl_au*OTc1ODA4OTUyLjE3MjMyMjYzMDY
- World Food Programme WFP. 2022. “WFP Ecuador Country Brief December 2022”, Disponible en https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000146331/download/?_ga=2.237877958.777128686.1676821527-62096658.1676821527
- World Food Programme WFP. 2024. “WFP Ecuador Country Brief”. Disponible en https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000158868/download/?_ga=2.16632502.1466588668.1716716565-1574910552.1716716563

Evaluación de un material lignocelulósico como sustituto de tierra de monte en la producción de *Euphorbia pulcherrima* cv. “Prestige Red”

Mónica Ivonne Jaimes Yescas¹, Irving Hernández González^{2*} y Antonio Flores Macías³.

Resumen. Un material lignocelulósico (Mlc) proveniente de residuos de poda y jardinería de la zona de Xochimilco, Ciudad de México, fue evaluado como material orgánico sustituto del uso de tierra de monte en la mezcla de un sustrato utilizado en la producción de *Euphorbia pulcherrima* cv “Prestige Red”. Se evaluaron concentraciones del 0, 20, 40, 60 y 100% v/v de Mlc como componente de los sustratos empleados en los diferentes tratamientos –tierra de monte (Tm), fibra de coco (Fc), tezontle (Tz) y agrolita (Ag). Se identificaron taxonómicamente los materiales verdes utilizados en la preparación del Mlc y se determinaron en los sustratos evaluados la densidad aparente (g cm^{-3}), porosidad total (%), porosidad de aireación (%), retención de humedad (%), pH, C.E y C.I.C., así como las variables de la planta: altura, área foliar, pesos secos de raíz, tallo y hojas. Al no encontrarse diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en las variables de crecimiento, se puede suponer que la utilización de cualquiera de las mezclas permitirá el desarrollo del cultivo con características de crecimiento iguales; por lo que el Mlc puede reemplazar la utilización de la tierra de monte contribuyendo a una menor degradación de las cubiertas de materia orgánica de los bosques.

Palabras clave. Cultivos en contenedor, Sustratos, Material lignocelulósico, Nochebuena.

Abstract. A lignocellulosic material (Mlc) from pruning and gardening residues from the area of Xochimilco, Mexico City, was evaluated as an organic substrate to substitute the use of leaf soil in the mixture

¹ Maestría en Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, CDMX, México.

² Proyecto Académico “Las Ánimas-Tulyehualco”, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, CDMX, México.

³ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, CDMX, México.

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

of a substrate used in the production of *Euphorbia pulcherrima* cv “Prestige Red”. Concentrations of 0, 20, 40, 60 and 100% v/v of Mlc were evaluated as a component of the substrates used in the different treatments - mountain soil (Tm), coconut fiber (Fc), tezontle (Tz) and agrolite (Ag). The green materials used in the preparation of the Mlc were taxonomically identified and the following physical and were determined bulk density (g cm^{-3}), total porosity (%), aeration porosity (%), moisture retention (%), pH, E.C. and C.I.C., as well as plant variables: height, leaf area, root, stem and leaf dry weights. Since no significant statistical differences were found between the treatments in the growth variables, it can be assumed that the use of any of the mixtures will allow the development of the crop with equal growth characteristics; therefore, Mlc can replace the use of mountain soil, contributing to a lower degradation of the organic matter cover of the forests.

Keywords. Container crops, Substrates, Lignocellulosic material, Poinsettia.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas mediante el uso de sustratos en contenedores se ha extendido en los últimos 50 años debido a un mayor costo-beneficio observado en los altos rendimientos, facilidad de cosecha, una elevada eficiencia en el control del balance agua/aire y suministro de nutrientes, así como una menor incidencia de patógenos que están asociados al suelo (Sujatha y Usha, 2019; Nejad and Ismaili, 2014; Schmilewski, 2009). Se debe entender como cultivo de plantas en sustratos, al método que involucra el desarrollo del sistema radical sin el uso de suelo como medio de anclaje (Savvas *et al.*, 2013), por lo que el sustrato tendrá que garantizar un adecuado balance entre la provisión de agua, aire y nutrientes para la planta, así como ser el medio de anclaje que le brinde un buen soporte. Para lograr lo anterior, el sustrato y sus componentes deben presentar características fisicoquímicas que, junto a un adecuado manejo agronómico, permitan el buen desarrollo de la planta (Gong *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2015; Onoño *et al.*, 2015). Las diversas mezclas de sustratos ligeros alterarán las características fisicoquímicas de las mezclas de cultivo y afectarán el crecimiento de las ornamentales en maceta (Kumar *et al.*, 2022).

Las propiedades físicas de los sustratos son las características que influyen en su estructura, como el tamaño, forma, textura y distribución de las partículas que lo conforman, lo que determinará el suministro de agua, aire y nutrientes a las raíces de las plantas, excluyendo al mismo tiempo los patógenos del suelo. Este equilibrio debe mantenerse durante todo el ciclo de producción del cultivo, que puede durar desde varias semanas hasta más de un año (Bilderback, 2005; Ravic, 2002).

La porosidad total (%), la densidad aparente (g cm^{-3}), agua fácilmente disponible (%), agua de reserva (%), agua no disponible (%), agua difícilmente disponible (%), son variables que ayudan a analizar las propiedades físicas de los sustratos. Para que un sustrato pueda proveer a la planta los nutrientes

necesarios para su desarrollo y crecimiento, es importante el análisis de las propiedades químicas como el pH, conductividad eléctrica (C.E.), capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), relación C/N, disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Las propiedades químicas, a diferencia de las propiedades físicas, pueden ser reguladas a lo largo del ciclo del cultivo (Barrett *et al.*, 2016; Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016; Carlile *et al.*, 2015; Quing-Chao *et al.*, 2014;). En cuanto a las propiedades biológicas, éstas deben ser consideradas en sustratos de origen orgánico, ya que pueden tener impactos en su función al ser portadores potenciales de patógenos y malezas, afectando la estabilidad biológica y la movilización de nutrientes; así mismo, los procesos de descomposición de la materia orgánica pueden alterar las propiedades físicas iniciales de los sustratos pudiendo reducir la capacidad de retención de aire y exceso en la retención de agua, afectando la estabilidad del sustrato a lo largo del ciclo productivo (Álcantar-González *et al.*, 2016; Carlile y Schmilewski, 2010; Alsanius y Wohanka, 2009).

Yeager *et al.* (2007), establecieron rangos óptimos en las propiedades físicas de los sustratos; entre ellas, una porosidad total del 50-85% v/v, porosidad de aire del 10 al 30% v/v, agua disponible del 25 al 35% v/v, densidad aparente de 190 a 700 kg m⁻³. Urrestarazu y Burés (2009), mencionan valores óptimos similares en porosidad total (70-85% v/v), porosidad de aireación (10 al 30% v/v), agua disponible (20 al 30% v/v), densidad aparente (150 a 750 kg m⁻³).

Los factores que se consideran para la selección de los sustratos se centran en su eficiencia y costos asequibles. Sin embargo, el impacto ambiental que ocasiona la extracción de diversos materiales para la elaboración de sustratos ha incentivado la investigación de sustratos alternativos que provengan de fuentes que no perjudiquen al ambiente (Barrett *et al.*, 2016; Burnett *et al.*, 2016). Ejemplo de lo anterior es la extracción de *peat moss*, que afecta las zonas sumideros de Carbono (C), liberándolo a la atmósfera y favoreciendo el cambio climático (Dunn y Freeman, 2011; Cleary *et al.*, 2005); de manera similar ocurre con la extracción de tierra de monte (Tm), que es un recurso forestal no maderable (RFNM). Esta tierra de monte tiene su origen en los ecosistemas forestales y áreas montañosas donde la descomposición natural de la materia orgánica es abundante. Este proceso natural ocurre principalmente en bosques, donde la caída constante de hojas, ramas, y otros materiales vegetales se descomponen lentamente, creando un medio rico en nutrientes. Su extracción para uso como sustrato, impacta negativamente al ecosistema debido a procesos de erosión, pérdida de nutrientes y retención de humedad, así como el aumento de la temperatura en los suelos que se encuentran expuestos, afectando a la microfauna y microbiota edáfica y al desarrollo de la vegetación presente en estos ecosistemas forestales (SERMANAT, 2016; Bin *et al.*, 2013; Pote *et al.*, 2012). El uso de materiales que eviten la extracción de esos sustratos tiene como requisito que proporcionen las propiedades físicoquímicas adecuadas para el cultivo, deben ser accesibles y disponibles en el mercado y, que su empleo sea amigable con el ambiente.

Los residuos verdes lignocelulósicos o materia vegetal (compuestos principalmente por lignina, hemicelulosa y celulosa) provenientes de desperdicios municipales son ampliamente utilizados como

componente principal en las mezclas de sustratos para los cultivos en contenedor (Carlile *et al.*, 2015); éstos, son básicamente materia orgánica muy estable, donde el C es el elemento dominante (48-58%) y la proporción de nitrógeno es menor (2-3%), por lo que tienen una relación C/N alta, lo que resulta en una descomposición más lenta porque los microorganismos necesitan nitrógeno para crecer y multiplicarse. Esto, hace que sean materiales muy estables al ser utilizados como sustratos (Chander-Kuhad *et al.*, 2011).

Considerando la importancia de no extraer los RFNM, en la presente investigación se evaluó un material lignocelulósico (Mlc) como potencial sustituto de la tierra de monte (Tm), utilizada como componente de sustratos empleados en el desarrollo de plantas en contenedores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (19° 25' 11" latitud N y 99° 03' 20" longitud O; 2,240 msnm). El clima es Cw templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 16° C y precipitación de 700.1 mm (INEGI, 2008).

La elección de los sustratos fue realizada considerando aquellos que son utilizados en la zona de producción de ornamentales en la zona de estudio; para ello, se realizaron entrevistas semiestructuradas aplicadas a productores mediante la técnica de muestreo *Snow Ball* (Goodman, 1961). Los sustratos mayormente empleados en la zona fueron Tm, obtenida de la zona forestal ubicada en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México; el tezontle (Tz), fibra de coco (Fc) y agrolita (Ag) que adquieren de la comercializadora local "Vivero y Agrícola San Francisco" Caltongo, Xochimilco, CDMX. El Mlc a evaluar se obtuvo del centro de composteo "El Axolotl", Xochimilco, CDMX; las especies vegetales utilizadas en su elaboración fueron identificadas taxonómicamente (Calderón y Rzedowski, 2001). Las especies vegetales para la elaboración del Mlc fueron trituradas hasta reducir el tamaño a fragmentos de 5-7 cm; con el material triturado se hizo una pila de 4 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de altura. El material se volteaba una vez por semana para favorecer una adecuada aireación y disminución de temperatura; además de humedecerse (40-45% V/V) cada tercer día durante cuatro semanas (Figura 1).

Figura 1. Proceso de elaboración del Mlc: (1) materia prima restos de jardinería y poda áreas verdes; (2) separación y clasificación; (3) trituración y (4) pilas de Mlc.



Fuente: Elaboración propia.

Los materiales utilizados en la preparación del sustrato, incluyendo el Mlc, se mezclaron en seis diferentes proporciones. Cada mezcla constituyó un tratamiento, entre los que se incluyó como testigo la utilizada por los productores de la zona (Cuadro 1). El arreglo experimental fue de bloques al azar en el que cada tratamiento tuvo seis repeticiones y cada unidad experimental contó con tres macetas.

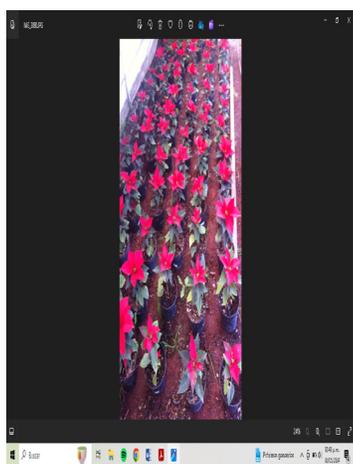
Para el estudio de los sustratos, se estableció el cultivo de nochebuena, *E. pulcherrima* cv. "Prestige Red". Se usaron esquejes de la casa comercial *Semplants* S. A. de C. V., mismos que se trasplantaron en macetas de 6" MATEC® (15.24 cm diámetro). Las macetas fueron espaciadas a 25 cm entre ellas, por lo que la densidad de población fue de dieciséis plantas por m². El cultivo se estableció bajo cubierta plástica blanca calibre 700, UV 50 % (Figura 2).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados como sustratos en el cultivo de *E. pulcherrima*

Tratamiento	Tipos de sustratos (% v/v)				
	Mlc	Tm	Tz	Fc	Ag
Control	0	60	15	15	10
Mlc 0	0	100	0	0	0
Mlc 20	20	40	15	15	10
Mlc 40	40	20	15	15	10
Mlc 60	60	0	15	15	10
Mlc 100	100	0	0	0	0

*Mlc: Material lignocelulósico Tm: Tierra de monte; Tz: Tezontle;
Fc: Fibra de coco; Ag: Agrolita

Figura 2. Experimento para la evaluación de un Mlc en el cultivo de *E. pulcherrima*



Fuente: Elaboración propia.

El suministro de nutrimentos se realizó a través de soluciones nutritivas que se modificaron en cada etapa fenológica del cultivo (Cuadro 2); la solución se ajustó a un pH de 6.5 mediante la adición de ácido sulfúrico. Cada riego fue de 300 mL de solución nutritiva por maceta; la frecuencia de los riegos se determinó con base a la demanda hídrica del cultivo, manteniéndolo a capacidad de campo. El manejo agronómico del cultivo se resume en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Manejo agronómico para el cultivo de *E. pulcherrima*

Etapa Fenológica	Fertilización	Riego	Plagas	Tratamiento	Enfermedades	Tratamiento
Trasplante del esqueje	Peters Professional Poinsettias Peat-lite special® (15-5-25) 1 g L ⁻¹ Ca(NO ₃) ₂ 1 g L ⁻¹ Riego sin fertilizante	Aspersión, mojando toda la planta, favorece un mantenimiento de la alta humedad relativa necesaria para un buen enraizamiento			<i>Rhizoctonia solani</i> (Pudrición de raíz)	Esterilizar o desinfectar sustrato, aplicar al suelo o sustrato PCNB 2 g L ⁻¹ y biocontrol.
Desarrollo vegetativo	Peters Professional Poinsettias Peat-lite special® (15-5-25) 1 g L ⁻¹ Ca(NO ₃) ₂ 1 g L ⁻¹ Riego sin fertilizante	Agua a nivel superficial, evitando acumulación de humedad en las hojas que favorecen la Botritis.	Mosquita blanca	Buprofezin (Applaud®)	<i>Phythium ultimum</i> y <i>Phytophthora parasitica</i> (Pudrición de raíz)	Desinfectar el sustrato, aplicar Metalaxil (Ridomil bravo, 2 g L ⁻¹)
			Araña roja	Abamectina (Agrimec®)	<i>Thielaviopsis basicola</i> (Pudrición de la raíz y cuello)	Esterilizar o desinfectar el suelo.
Floración	Peters Professional Poinsettia Finisher® (15-20-25) 1 g L ⁻¹ Ca(NO ₃) ₂ 1 g L ⁻¹ Riego sin fertilizante	Reducir la cantidad de agua, teniendo cuidado de no manchar las brácteas.	Mosquita negra	Carbofuran (Furadan®)	<i>Althernaria euphorbiicola</i> (Tizón foliar)	Programa preventivo con Manzate 2 g L ⁻¹ aplicar al follaje.
			Mosquita blanca y trips	Imidacloprid (Confidor®)	<i>Sphaceloma poinsettia</i> (Roña)	Programa preventivo con Manzate 2 g L ⁻¹ aplicar al follaje
					Moho gris (Tizón por <i>Botrytis cinerea</i>)	Programa preventivo con Tecto 60 1g/L
					Fitoplasmas Virus (virus mosaico de la poinsettia –PnMV)	Tetraciclina

Fuente: Ecke et al. 2004, García et al. 2013.

Propiedades fisicoquímicas de los sustratos

Se tomaron muestras de 1.5 kg de cada tratamiento, mismas que se analizaron en el Laboratorio de Física de Suelos y en el Laboratorio de Fertilidad - Química de Suelos, del Colegio de Postgraduados (COLPOS). A cada muestra se le determinó la densidad aparente (g cm^3), porosidad total, porosidad de aireación (%) (Inbar *et al.*, 1993), pH, C.E. (dS m^{-1}), C.I.C (cmol kg^{-1}) y porcentaje de retención de humedad (Wilson, 1983).

Las variables evaluadas en el cultivo fueron altura de la planta, midiéndola desde el “cuello” del tallo hasta el ápice de crecimiento de mayor altura; el área foliar, que fue determinada mediante un medidor de área foliar (LICOR® 3); la biomasa seca de hojas, tallo y raíz, que se obtuvo dejando las muestras a 70 °C por 72 h en un horno análogo de acero marca Felisa modelo FE-293.

Análisis estadístico

Los datos de las variables cuantificadas fueron sometidos a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk W test) y homocedasticidad (Levene). En caso de no cumplirse estos criterios, se recurrió a pruebas no paramétricas (Kruscall Wallis). Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) y posteriormente la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para determinar posibles diferencias entre medias (JMP 11 ® Software).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del Mlc

Se identificaron 16 especies provenientes de los residuos de poda de la Alcaldía de Xochimilco, siendo las especies *Ficus benjamina* (45.4% V/V) y *Fraxinus uhdei* (20.1% v/v) las que mayor presencia tuvieron (Cuadro 3). Estas son especies arbóreas perennifolias que entran dentro de la categoría de maderas duras con porcentajes de lignina que van del 18 al 25% (Gómez *et al.*, 2012; Sung y Chen, 2002). La lignina juega un papel importante en la bioestabilidad de los sustratos, por lo que se infiere que sustratos con el Mlc, pueden mantener estables por mayor tiempo las propiedades fisicoquímicas. Es importante considerar la relación inversamente proporcional entre la concentración de lignina y la tasa de mineralización de N de la materia orgánica del Mlc, por lo que es necesario el suministro de N en la mezcla del sustrato para que inhiba la competencia entre los microorganismos y la planta (Hernández *et al.*, 2006).

Kostova e Iossifova (2007) y Hassan *et al.* (2003) reportan la composición química de *F. uhdei* y *F. benjamina* respectivamente, determinando la presencia de compuestos fenólicos como cumarinas,

con propiedades insecticidas, bactericidas y fungicidas, así como flavonoides con actividad antioxidante y funciones que inhiben el desarrollo de patógenos, por lo que los compuestos presentes en el material orgánico que dan origen al Mlc, pueden tener efectos benéficos al inhibir el desarrollo de patógenos como *Clavibacter* spp. Un análisis sobre la presencia y concentración de dichos compuestos químicos, así como la evaluación de la susceptibilidad de los cultivos a éstos, puede ser útil para descartar o no el empleo de sustratos alternativos provenientes de residuos de poda (Zarate-Martínez *et al.*, 2018; Díaz-Serrano *et al.*, 2006) así como la capacidad insecticida, bactericida y fungicida donde el Mlc sea componente del sustrato. En el presente experimento no se observó la presencia de signos de enfermedades en raíz, lo cual pudiera estar asociado a los metabolitos existentes en el sustrato.

Cuadro 3. Especies de plantas con mayor presencia en la elaboración del Mlc.

Especie		Volumen Total (3.5 m ³) % v/v
Nombre Científico	Nombre Común	
<i>Ficus benjamina</i> L.	Laurel	45.4
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	20.1
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto o Alcanfor	6.0
<i>Schinus molle</i> L.	Pirul	4.3
<i>Callistemon citrinus</i>	Escobillón rojo	3.9
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	3.9
<i>Cupressus</i> sp.	Ciprés	3.9
<i>Ligustrum japonicum</i>	Trueno	2.6
<i>Bougainvillea glabra</i>	Buganvilia	2.2
<i>Salix bonplandiana</i>	Ahuejote	1.3
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar, Ocozote	1.3
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto o Alcanfor	1.3
<i>Acer negundo</i>	Acezintle	1.0
<i>Yucca</i> sp.	Izote	1.0
<i>Malva</i> sp.	Herbácea	0.9
<i>Blepharocalyx</i> sp.	Ninguno (Especie Arbórea)	0.9

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades físicoquímicas de los sustratos

Se observa que el tratamiento control es el único que presenta valores dentro de los rangos óptimos de todas las propiedades físicoquímicas estudiadas para *E. pulcherrima* (Cuadro 4). Los tratamientos Mlc 20, Mlc 40 y Mlc 60 presentan un valor de porosidad ligeramente inferior al rango óptimo; sin embargo, están dentro de los rangos óptimos para las demás variables. El tratamiento Mlc 100 sólo presenta valores ligeramente inferiores a los rangos óptimos en las variables porosidad total y porosidad de aireación.

La densidad aparente es un factor determinante en la porosidad de los sustratos y por lo tanto en su aireación y contenido de humedad. Cuando se presentan valores en la densidad aparente mayores a los óptimos (0.15 a 0.75 g cm^{-3}) existe una disminución en el volumen de poros, afectando la oxigenación en raíces y aumentando la retención de agua que no es disponible para la planta (Abad *et al.*, 2001). Los sustratos con mayor contenido de Tm o de Mlc (Mlc 0 y Mlc 100), presentan una menor porosidad total y porosidad de aireación, lo que pudiera llegar a afectar la oxigenación y retención de agua a nivel de la rizosfera. Probablemente, el valor de 7% de la porosidad de aireación del tratamiento Mlc 100 sea resultado de una mayor capacidad de retención de agua. Considerar la bioestabilidad de los materiales de origen orgánico como la Tm y Mlc, es importante ya que influye en los procesos de degradación, mineralización y, por consiguiente, en la compactación del sustrato, reflejado en los valores de la porosidad (Urrestarazu y Burés, 2009). Los resultados en las propiedades físicoquímicas deben de ser analizadas e interpretadas sin dejar de considerar que el Mlc estuvo sometido a un proceso de semicompostaje y que dichas propiedades serían diferentes si se permitiera al material de las podas verdes un mayor tiempo de compostaje.

Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas de los diferentes tratamientos empleados en el cultivo de *E. Pulcherrima* cv Prestige Red

Tratamiento	Densidad aparente (g cm^{-3})	Porosidad Total (%)	Porosidad Aireación (%)	Porosidad RH (%)	pH	CE (dS m^{-1})	CIC cmol kg^{-1}
Control	0.3	78	16	62	6.0	0.4	32
Mlc 0	0.3	68	12	56	5.5	0.3	64
Mlc 20	0.4	70	22	48	6.5	0.4	39
Mlc 40	0.4	72	19	53	6.9	0.6	36
Mlc 60	0.4	71	18	52	7.3	0.7	33
Mlc 100	0.3	68	7	61	7.4	0.7	60
Óptimos*	0.15-0.75	70-85	10-30	55-70	5.2-6.5	$\leq 2.0^{**}$	>20

Fuente: Gayosso-Rodríguez *et al.* 2016; Urrestarazu y Burés, 2009; Yeager *et al.* 2007.

RH: Retención de humedad; CE: Conductividad eléctrica.

*Datos óptimos para el cultivo de *E. pulcherrima*.

**Tolerancia máxima de 2-3.5 (dS m^{-1}). C.E de *E. pulcherrima*.

Los tratamientos Mlc 40, Mlc 60 y Mlc 100, tienen los valores de pH y C.E. más altos con respecto a los demás tratamientos. El Mlc, al ser un sustrato orgánico en proceso de compostaje, es más alcalino por la mineralización de compuestos nitrogenados hasta la forma de amoníaco (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011). Así mismo, el uso de agua tratada proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales “Cerro de la Estrella” con un pH de 8.3, utilizada para humedecer las pilas de Mlc, contribuye a explicar los valores de pH y C.E. observados (Almanza-Encarnación *et al.*, 2023). Algo diferente se aprecia para el tratamiento Mlc 0, donde el pH (5.5) y la C.E. (0.3 ds m^{-1}) presenta valores bajos, que al parecer son resultado de la presencia de las acículas del mantillo de bosque que, al descomponerse, favorecen la acidificación del sustrato (Barret *et al.*, 2016; Burés, 1997). Los tratamientos Mlc 0 y Mlc 100, al proceder totalmente de compuestos orgánicos, tuvieron los valores más altos de C.I.C con respecto a los demás tratamientos en los que están presentes componentes inorgánicos e inertes (Tz y Ag). Es importante contar con sustratos con valores de C.I.C. superiores a 20 cmol kg^{-1} para una mayor retención de cationes y un menor efecto lixiviante del agua, sobre todo si la fertirrigación se aplica de modo intermitente (Urrestarazu y Burés, 2009).

Variables evaluadas en el cultivo de *E. pulcherrima*

El efecto de los tratamientos sobre las variables de crecimiento muestra que no hubo diferencias estadísticas significativas para las variables de altura, área foliar, peso seco de tallo, hoja y raíz (Cuadro 5). El tratamiento control presentó un valor ligeramente superior para la variable de la altura (15.27 cm), sin embargo, presentó valores ligeramente inferiores en área foliar (375.95 cm), peso seco de hojas (1.85 g) y tallos (5.93 g). El tratamiento Mlc 20, mostró los valores más altos para la mayoría de las variables estudiadas (área foliar, peso seco de hojas y tallo).

Un análisis de regresión lineal mostró una tendencia negativa entre la variable altura y las diferentes concentraciones de Mlc con un coeficiente de correlación lineal de 0.94 ($p < 0.05$); lo que pudiera indicar que al incrementar la cantidad de Mlc en la mezcla del sustrato, la altura del cultivo tiende a disminuir. Esto pudiera estar asociado a la porosidad total y de aireación que muestran una tendencia negativa entre estas variables y el contenido de Mlc; a mayor contenido de Mlc menor es la porosidad total y de aireación y por lo tanto menos oxígeno disponible para las raíces.

Los coeficientes de correlación lineal de las otras variables de crecimiento y el contenido de Mlc mostraron bajos valores de correlación y una significancia mayor a 0.05.

Cuadro 5. Efecto de diferentes tratamientos sobre las mediciones de crecimiento en el cultivo de *E. pulcherrima* cv Red Prestige

Tratamiento	Altura (cm)	Área Foliar (cm ²)	Peso seco Hojas (g)	Peso seco Tallo (g)	Peso seco Raíz (g)
Control	15.27a	375.95a	1.85a	5.93a	1.53a
Mlc 0	15.02a	429.38a	2.26a	7.15a	1.71a
Mlc 20	14.81a	623.14a	3.40a	9.05a	2.05a
Mlc 40	14.17a	442.81a	2.75a	5.95a	1.49 a
Mlc 60	14.21a	517.54a	2.86a	6.00a	1.76 a
Mlc 100	13.92a	449.87a	2.60a	7.66a	2.1 a

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p \geq 0.05$).

CONCLUSIONES

Al no encontrarse diferencias estadísticas significativas en las variables de crecimiento del cultivo de *E. pulcherrima* cv Red Prestige entre tratamientos, la utilización de cualquiera de las mezclas de entre los sustratos estudiados permitirá el desarrollo del cultivo con características iguales en las variables de crecimiento. Sin embargo, si se considera el impacto en los ecosistemas resultante de la extracción de RFNM, la sustitución de la tierra de monte por el Mlc resulta una alternativa al uso de materiales depredados de los bosques.

Un factor a considerar en el manejo agronómico del cultivo en sustratos con alto contenido de Mlc, es el pH alcalino; por ello, este deberá ajustarse en caso de que el cultivo a desarrollar requiera valores cercanos a la neutralidad o ácidos.

La caracterización previa del Mlc y el conocimiento del proceso de elaboración, es importante ya que, al ser un sustrato proveniente de residuos verdes, éstos presentan propiedades fisicoquímicas que pueden variar dependiendo del origen de la materia prima y método de compostaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., P. Noguera, y S. Burés. 2001. "National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain." *Bioresource Technology* 77:197–200. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(00\)00152-8](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00152-8)
- Alsanius, B.W. y W. Wohanka. 2009. *Prospects for biological characterization and evaluation of growing media*. Acta Hort. 819, 99–109.
- Álcantar González G., Trejo-Téllez, L., y F. Gómez-Merino (eds). 2016. *Nutrición de Cultivos*. Segunda Edición. México. Biblioteca Básica de Agricultura.
- Almanza Encarnación, S., M. G. Figueroa Torres, M. J. Ferrara Guerrero, A. del R. Malpica Sánchez y J. R. Ángeles Vázquez. 2023. "Microalgas asociadas a un vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella, sobre un canal de Xochimilco, Ciudad de México." *Hidrobiológica* 33 (1): 73-86.
- Barrett, G.E., Alexander, P.D., Robinson, J.S., Bragg, N.C., 2016. "Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems –a review." *Sci. Hort.* 212: 220–234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>
- Bilderback, T. E., Warren, S. L., Owen, J. S., Jr., & Albano, J. P. (2005). "Healthy Substrates Need Physicals Too!" *HortTechnology horttech*, 15(4), 747-751. Retrieved Jul 23, 2024, from <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.4.0747>
- Bin, Z., Huili, W., Shuihong, Y. y B. Lidong. 2013. "Litter quantity confers soil functional resilience through mediating soil biophysical habitat and microbial community structure on an eroded bare land restored with mono *Pinus massoniana*." *Soil Biology and Biochemistry*. 57: 556-567. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.07.024>
- Brito, L.M., Reis, M., Mourao, I. y J. Coutinho. 2015. "Use of Acacia waste compost as an alternative component for horticultural substrates." *Communication Soil Science and Plant Analysis*. 46: 1814-1826. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1059843>
- Burés, S. 1997. "Sustratos." *Agrotécnicas S. L.* Madrid, España. 340 p.
- Burnett, S., Mattson, K. y K. Williams. 2016. "Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States." *Scientia Horticulturae*.1: 111-119.
- Calderón de R.G. y J. Rzedowski. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Segunda Edición. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro. <https://doi.org/10.32800/abc.2019.42.0187>
- Carlile, W.R., Cattivello, C., Zaccheo, P. 2015. ""Organic Growing Media: Constituents and Properties." *Vadose Zone Journal*. Vol. 14: 1-13.

- Carlile, B. y G. Schmilewski. 2010. "Life in growing media – the good, the bad and the ugly. Proceedings of the International Peat Society." *Peat in Horticulture – Life in growing media*, 7–14.
- Chander Kuhad, R., Piyush-Chandna, L. y A. Singh. 2011. "Composting of Lignocellulosic Waste Material for Soil Amendment." In: A. Singh (ed.) *Bioaugmentations, Biostimulation and Biocontrol, Soil Biology*. Berlin, Germany. pp. 107-128 https://doi.org/10.1007/978-3-642-19769-7_6
- Celaya-Michel, H. y Castellanos-Villegas, A. E. (2011). "Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas." *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356. Recuperado en 28 de mayo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300343&lng=es&tlng=es.
- Cleary, J., Roulet, N.T., y T.R.Moore. 2005. "Greenhouse gas emissions from Canadian peat extraction, 1990–2000: a life cycle analysis." *Ambio* 34: 456–461.
- Díaz Serrano, F., Sánchez-García, P., Sandoval-Villa, M., Quintero-Lizaola, R., Soto-Hernández, M., y A. Martínez-Garza. 2006. "Fenólicos solubles en sustratos de paja de trigo y su efecto en plántulas de brócoli". *Terra Latinoamericana*. 24: 327-335.
- Dunn, C., Freeman, C., 2011. Peatlands: our greatest source of carbon credits? *Carbon Manage.* 2 (3): 289–301.
- Gayosso Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M.A. y R. Garruña-Hernández. 2016. "Sustratos para producción de flores". *Agrociencia*. 50: 617-631.
- Gómez, E., Ríos, L. y J. Peña. 2012. Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información Tecnológica*. 23(6): 73-86. doi: 10.4067/S0718-07642012000600009
- Gong, X., Li, S., Sun, X., Wang, L., Cai, L., Zhang, J., Wei, L., 2018. "Green waste compost and vermicompost as peat substitutes in growing media for geranium (*Pelargonium zonale* L.) and calendula (*Calendula officinalis* L.)". *Scientia Horticulturae* Vol. 236, 186–191.
- Goodman, L. 1961. Snowball Sampling. *Annals of Mathematical Statistics*. 32: 245-268.
- Hassan Abdalla, A., Mawardi, R., Mohd Aspollah, S. y A. Abdul Manaf. 2003. "The Chemical Constituents of *Ficus benjamina* Linn. and their Biological Activities". *Pertanika J. Sci. and Technol.* 11(1): 73-81.
- Inbar, Y., Hadar, Y., y Chen, Y. 1993. "Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of maturity". *Journal of Environmental Quality*. 22: 857–863.
- INEGI. 2008. Cuaderno Estadístico Delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Mapas. Fecha de consulta febrero de 2016. Página web: [20http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/info/df/m013/mapas.pdf](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/info/df/m013/mapas.pdf) <https://doi.org/10.17013/risti.26.43-53>
- Kostova, I. y T. Iossifova. 2007. "A Review: Chemical components of *Fraxinus* species". *Fitoterapia*. 78: 85-106 pp. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.08.002>.

- Kumar, R., Singh, A. K., Tomar, K. S., & Gupta, A. K. (2022). "Effects of Different Media on Growth and Flowering Traits of *Calendula Officinalis* L." *Bangladesh Journal of Botany*, 51(3), 417-42
- Nejad, A.R., Ismaili, A., 2014. "Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media". *J. Sci. Food Agric.* 94 (5): 905–910.
- Ondoño, S., Martínez-Sánchez, J. y J.L. Moreno. 2015. "Evaluating the growth of several Mediterranean endemic species in artificial substrates: Are these species suitable for their future use in green roofs?." *Ecological Engineering* 81: 405-417. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.079>
- Pote, D., Burner, D. y J. Snider. 2012. "Pine straw harvesting effects on vadose-zone water content of a leadvle silt loam in western Arkansas." *Journal of Sustainable Forestry*. 31: 230-238. <https://doi.org/10.1080/10549811.2011.582829>
- Ravic, M., Wallach, R., Silber, A., & Bar-Tal, A. (2002). "Substrates and their analysis." *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*, 25-102.
- Quing Chao, L., Kui-Ling, W., Hui-Tang, P. y Z. Qi-Xiang. 2014. "Effects of substitute media on development of potted *Cyclamen percicum* Mill." *Journal of Northeast Agricultural University*. 21 (2): 28-37. [https://doi.org/10.1016/s1006-8104\(14\)60031-3](https://doi.org/10.1016/s1006-8104(14)60031-3)
- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., y N. Gruda. 2013. "Soilless culture. Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops, Principles for Mediterranean Climate Areas, 217." *FAO Plant Production and Protection Paper*, pp. 303–354.
- Schmilewski, G., 2009. "Growing media constituents in the EU." *Acta Hortic.* 819, 33–45.
- Sujatha, A., Usha B. 2019. "Standardization of Substrate Composition for Pot Plant Production of Tuberose var. Arka Sugandhi." *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 8(1): 2197-2203. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.229>
- Sung, Y. y J. Chen. 2002. "Hydrolysis of ligninocellulosic materials for ethanol production: A review." *Bioresource Technology*. 83: 1-11.
- Urrestarazu, M., y S. Burés. 2009. "Aplicación de cultivos sin suelo en la agricultura." *Hort. Inter.* 70: 10-15.
- Wilson, G.C.S. 1983. "The physio-chemical and physical properties of horticultural substrates". *Acta Horticulturae*, 150:19-32.
- Yeager, T.H., Fare, D.C., Lea-Cox, J., Ruter, J., Bilderback, T.E., y C.H. Gilliam. 2007. *Best management practices: Guide for producing container-grown plants*. 2nd ed. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, GA.
- Zarate Martínez, W., González-Morales, S., Ramírez-Godina, F., Robledo-Olivo, A. y A. Juárez-Maldonado. 2018. "Efecto de los ácidos fenólicos en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) inoculadas con *Clavibacter michiganensis*". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 20: 4367-4379.

Uso de anillo de goma para la castración en bovinos: neurobiología del dolor, aspectos legales, éticos y etológicos

Daniel Mota Rojas^{1*}, Agustín Orihuela², Adriana Domínguez Oliva¹, Pamela Anahí Lendez^{3,4}, Marcelo Ghezzi⁴ y Fabio Napolitano⁵

Resumen: Uno de los métodos más empleados y permitidos para castración de bovinos es el uso de anillos de goma. Al colocar anillos alrededor de los testículos de becerros menores de tres meses, se consigue la castración a través de isquemia y muerte del tejido testicular. Aunque se le atribuyen ventajas como un método de bajo costo e indoloro, por lo cual es un procedimiento aceptado en normativas nacionales e internacionales, se han observado respuestas asociadas al dolor como alteraciones en el comportamiento y endocrinas. El objetivo de esta revisión es el análisis comparativo de la castración quirúrgica y el anillo de goma, las consecuencias sensitivas, fisiológicas, productivas, conductuales y los aspectos legales sobre el uso del anillo de goma para la castración en bovinos. De acuerdo con los hallazgos, los becerros a los que se les castra con anillos de goma presentan aumentos en las concentraciones de cortisol plasmático, sustancia P y haptoglobina. Por otra parte, alteraciones en la postura como arqueamiento de la espalda y recumbencia lateral con extensión de los miembros pelvianos son cambios asociados al dolor. De igual manera, un aumento en la presentación de pisadas y patadas y lamidos al área afectada se han observado con el uso de este método de castración. Actualmente se recomienda la castración con anillos de goma en conjunto con la administración de analgésicos locales. No obstante, debido a que el uso de analgesia en becerros es limitado, se requiere que las normativas consideren el potencial dolor –y sus consecuencias– generadas por este método de castración en becerros.

Palabras clave: Becerros, Dolor agudo, Analgesia local, Sensibilización periférica.

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

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

³ Anatomy Area, Faculty of Veterinary Sciences (FCV), Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), University Campus, Tandil, Argentina.

⁴ Centro de Investigación Veterinaria de Tandil CIVETAN, UNCPBA-CICPBA-CONICET (UNCPBA), University Campus, Tandil, Argentina.

⁵ Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

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

Abstract: *One of the most used and approved methods for castration of bovines is by using rubber bands. By placing the bands around less than 3-month-old calves' testicles, castration is achieved through ischemia and death of the testicular tissue. Rubber ring castration has the advantage of being a low-cost and easy method, which is why it is an accepted procedure in national and international regulations. However, responses associated with pain such as behavioral and endocrine alterations have been observed. The objective of this review is the comparative analysis of surgical and rubber ring castration, considering the sensory, physiological, productive, and behavioral consequences, as well as the legal aspects of rubber ring castration in cattle. According to the findings, calves that are castrated with rubber bands show increases in plasma cortisol, substance P, and haptoglobin concentrations. On the other hand, alterations in posture such as arching of the back and lateral recumbency with extension of the pelvic limbs are changes associated with pain. Likewise, an increase in stomping, kicking, and licking the affected area has been observed with the use of this castration method. Castration with rubber bands is currently recommended with the administration of local analgesics. However, because the use of analgesia in calves is limited, regulations are required to consider the potential pain – and its consequences – generated by this method of castration in calves.*

Keywords: *Calves, Acute pain, Local analgesia, Peripheral sensitization.*

INTRODUCCIÓN

La castración es un procedimiento que comúnmente se realiza en las unidades de producción. Su objetivo es producir ganado dócil para el trabajo de tiro, reducir la reproducción indeseada y modificar la calidad de la canal (Mota-Rojas, 2013; Mota-Rojas, 2014; 2015). De manera general, existen tres tipos de castración: 1) con anillos de goma colocados en el 32% de becerros de una semana de edad y el 85% de los animales de tres meses; 2) con pinzas de Burdizzo o técnica de Burdizzo, la cual se realiza entre el 1–43% de animales; y 3) la castración quirúrgica, llevada a cabo entre el 18–39% de los becerros (Stafford y Mellor, 2005; Abdulkhaliq *et al.* 2007). El uso de anillos de goma se considera un método sencillo, económico e indoloro para castrar los animales. No obstante, independientemente del método de castración, todos involucran efectos negativos como el daño tisular, el subsecuente dolor agudo y la elevación de los niveles séricos de cortisol (Marquette *et al.* 2023).

En Australia, el 70–75% de las granjas emplean el anillo de goma, mientras que en el Reino Unido su uso es superior al 85% (Molony y Kent 2007; Paull *et al.* 2012). Esta técnica se basa en la oclusión de la circulación local del testículo, ocasionando congestión local, isquemia y muerte del tejido testicular. La presión que ejercen los anillos o bandas de goma induce dolor agudo en los animales debido a la sensibilización de las fibras sensitivas (Mota-Rojas, 2014, 2015; Orihuela y Ungerfeld, 2019a; Hernández-Avalos *et al.* 2021). Una alternativa que se propone para controlar o mitigar el dolor por la castración

con anillos de goma es el uso de analgésicos; sin embargo, los reportes encuentran que la administración de analgesia no siempre disminuye las alteraciones fisiológicas y de comportamiento asociadas al dolor (Ting *et al.* 2003; Stafford y Mellor, 2005; Mota-Rojas, 2013; Repenning *et al.* 2013; Mota-Rojas *et al.* 2016). Por esta razón, el objetivo de este artículo de revisión es el análisis comparativo de la castración quirúrgica y el anillo de goma, las consecuencias sensitivas, fisiológicas, productivas, conductuales y los aspectos legales sobre el uso del anillo de goma para la castración en bovinos.

Comparativa entre la castración quirúrgica y el uso del anillo de goma

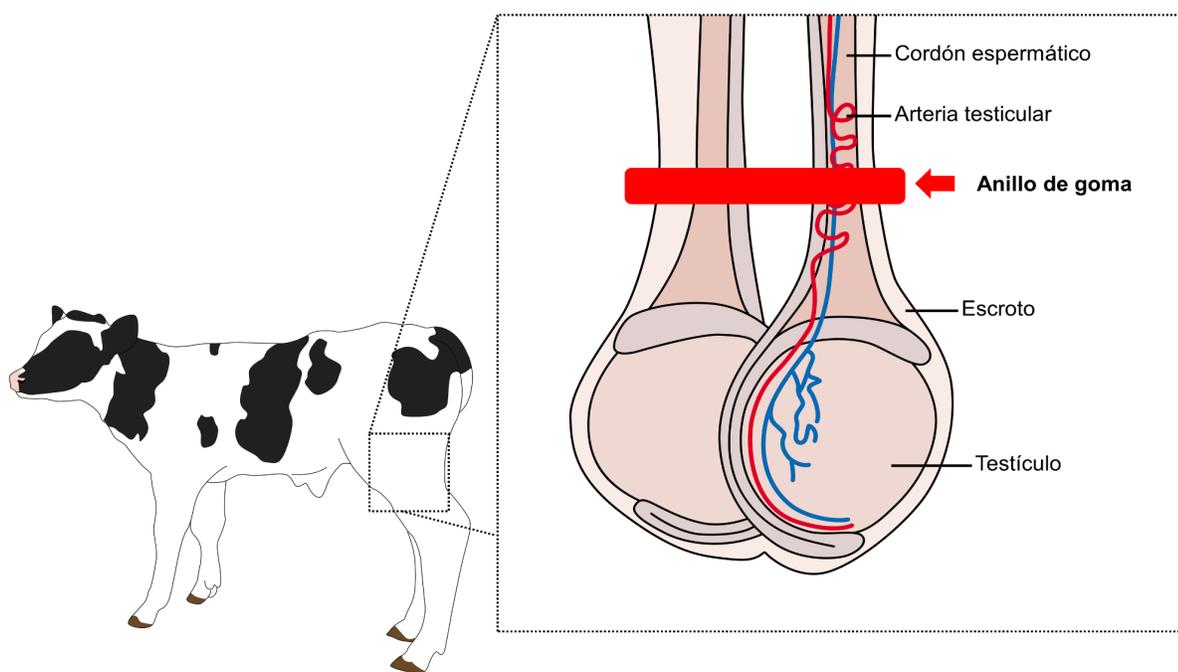
La castración en el bovino se considera una de las prácticas rutinarias en las unidades de producción. La castración se realiza con el objetivo de reducir la incidencia de reproducción no deseada en animales de baja calidad (Archer *et al.* 2004; Mota-Rojas 2013), así como el reducir la agresividad de los animales y la conducta sexual (Prunier *et al.* 2006). Por ejemplo, Price *et al.* (2003) evaluaron la frecuencia de conductas agresivas en ocho novillos de carne (Hereford, Angus y Hereford x Angus) castrados vía inmunización activa contra la hormona liberadora de la gonadotropina y con castración quirúrgica. En los animales castrados se observó que los golpes iniciados por cada animal y la participación en combates se redujo de forma significativa, lo que sugiere que la castración ayuda a reducir la agresividad de los novillos y, en consecuencia, facilitar el manejo de los animales.

En conjunto con la reducción de la agresividad producto de la castración, la reducción de las lesiones debido a las agresiones y monta entre congéneres también puede ayudar a disminuir el número de hematomas presentes en la canal (Kenny y Tarrant, 1987; Jago *et al.* 1997; Katz, 2007). Diversos estudios han encontrado una relación entre la presencia de cortes oscuros, la frecuencia de hematomas en la canal y la frecuencia de agresiones entre congéneres en las unidades de producción (Kenny y Tarrant, 1987; Tarrant, 1989; Partida *et al.* 2007; Huertas *et al.* 2015; Mota-Rojas *et al.* 2016). Otra ventaja de la castración es el posible incremento de la ganancia diaria de peso en los animales a pesar del incremento inmediato del cortisol producto del manejo (Obritzhauser *et al.* 1998; Martins *et al.* 2011; Álvarez-Rodríguez *et al.* 2017; Canozzi *et al.* 2017; Roberts *et al.* 2018; Mota-Rojas *et al.* 2018). En este sentido, Kim *et al.* (2015) evaluaron el efecto de la castración sobre el crecimiento y las características de la canal en 12 toros alce de cinco años. Observaron que la ganancia total y ganancia de peso promedio diaria fue mayor en los animales. En consecuencia, tuvieron un peso final mayor. Además, en los animales castrados, se observó que hubo menor humedad y menor contenido de grasa en los cortes. Con estos resultados, posiblemente queda claro que la castración tiene un beneficio conductual y productivo, lo cual facilitaría el manejo al productor.

A pesar de que la castración conlleva ciertos beneficios, el método elegido influye en la respuesta. La castración con anillos de goma se considera un método económico y simple para aplicar a temprana

edad en ganado bovino en sistemas intensivos (Stafford *et al.* 2000; Boesch *et al.* 2006). La figura 1 esquematiza el sitio anatómico de colocación del anillo de goma. El anillo se coloca en la base del escroto para comprimir la arteria y vena testicular, así como los conductos espermáticos. Dicha oclusión reduce el aporte sanguíneo a nivel del testículo, además de la circulación de espermatozoides en el cordón espermático (Kent *et al.* 2001). En animales de mayor edad se suelen emplear bandas de goma que permitan la compresión adecuada del cuello del escroto (Orihuela y Ungerfeld 2019a).

Figura 1. Sitio de colocación del anillo de goma para la castración de terneros



El anillo se coloca en la base del escroto para ocluir la arteria y vena testicular, acompañado del conducto del epidídimo. Esto provoca la disminución de la circulación espermática.

La interrupción a la circulación en los testículos genera una respuesta inflamatoria y, con ello, dolor agudo (Kent *et al.* 1995). Fisher *et al.* (2001) compararon el efecto de la castración quirúrgica con el uso de anillos de goma en toros de carne. En estos animales se observó que, independientemente del método de castración, la concentración de haptoglobina plasmática incrementó en un 50% sin afectar las concentraciones de cortisol. Además, el peso de los animales castrados con anillos de goma fue 0.20 kg menor. Estos resultados permitieron a los autores concluir que el uso del anillo de goma produce menos efectos agudos, pero tiene mayor supresión del crecimiento, lo cual significa que podría ser un método no tan adecuado.

La posible explicación de este efecto se debe a que la oclusión ocasionada por el anillo de goma genera congestión sanguínea a nivel local. Las células inmunes presentes liberan citocinas proinflamatorias como interleucina (IL)-1, IL-6, IL-10, factor de necrosis tumoral- α y prostaglandina F 2α , las cuales ocasionan la activación de fibras simpáticas de forma prolongada (Sherwood y Toliver-Kinsky 2004). Estos mediadores promueven sistemas catabólicos a causa de un tono simpático elevado, por esta razón es posible que se vea limitado el crecimiento (Grandin *et al.* 2023) as well as the selected stunning and bleeding methods, can cause acute pain, distress, and suffering. In water buffaloes, although stunning is known to be performed before bleeding to induce unconsciousness, no emphasis is made on the nociceptive events during this process. Particularly, current mechanical stunning methods applied to cattle are unsuitable for water buffaloes due to anatomical differences in the skull from other large ruminants. Furthermore, although very high-pressure pneumatic (200–220 psi. Cabe mencionar que el modelo experimental en humanos sostiene que la misma congestión local y la respuesta neurohormonal puede causar la activación de las células endoteliales que conlleva una activación simpática en tejidos periféricos, pero que lleva a una respuesta sistémica (Colombo *et al.* 2014). Por consiguiente, la evidencia científica muestra que el uso del anillo de goma como método de castración no es el más adecuado y posiblemente tendría más consecuencias que beneficios.

Dicha inflamación a nivel escrotal motiva a los animales a invertir más tiempo en enfocarse a la atención de la herida y menos tiempo al consumo de alimento (Coria-Avila *et al.* 2022). De hecho, un estudio realizado por Thornton *et al.* (2002) moving, eating, lying, playing and abnormal postures. The times spent performing each group of behaviours on the days following castration (days 2, 3 and 4 evaluó la respuesta conductual en 46 ovinos de la raza Suffolk bajo dos métodos de castración (anillo de goma y pinzas de Burdizzo). Encontraron que, independientemente del método de castrado, el tiempo de juego y el de descanso disminuyeron significativamente las primeras cuatro semanas posteriores a la castración. Además, en las primeras cuatro a seis semanas posteriores, se registró un incremento en la frecuencia de posturas anormales. Para los autores estos resultados demuestran que el método de castración con anillo de goma genera dolor agudo de forma prolongada.

Por consiguiente, la evidencia científica muestra que la castración con anillo de goma puede alterar de forma negativa la respuesta conductual, producto de la inflamación como consecuencia de la

oclusión de la circulación a nivel escrotal. Dicha respuesta puede también afectar de manera negativa el nivel productivo. Sin embargo, para comprender estas consecuencias se discutirán a detalle en temas subsecuentes.

Consecuencias sensitivas del uso del anillo de goma

Lo discutido anteriormente señala que el uso del anillo de goma puede ocasionar que la inflamación del tejido escrotal a causa de la oclusión de la circulación local. Una revisión sistemática realizada por Bretschneider *et al.* (2005) menciona que la castración mediante el anillo de goma es menos estresante que la castración quirúrgica debido a que el rendimiento productivo y la respuesta de estrés es mayor con la castración quirúrgica. Estos datos coinciden con un estudio comparativo entre la castración quirúrgica y la castración con anillo de goma en becerros Friesian de cuatro a 11 meses. Se encontró que en ambos métodos de castración hubo un incremento de 15 nmol/L del cortisol salival (Fell *et al.* 1986). Resultados que podrían cuestionar la idea sobre si el uso del anillo de goma es un método más doloroso en comparación a la castración quirúrgica.

Los estudios que muestran incrementos en las concentraciones de cortisol sanguíneo indican que existe una respuesta de estrés similar a la castración quirúrgica. Desde una perspectiva estrictamente neurobiológica, la congestión local activa células endoteliales y células del sistema inmune, ocasionando que las fibras sensitivas a nivel escrotal sean activadas lo que lleva a la transducción y transmisión de las señales nociceptivas (Bell, 2018). No sobra decir que la inflamación local puede conllevar a la alteración de las fibras sensitivas, ya que la liberación de citocinas proinflamatorias como la IL-1, IL-6, factor de necrosis tumoral y prostaglandina F2 α , ocasiona que el potencial de acción de las neuronas sensitivas, este fenómeno facilita la transmisión de las señales dolorosas, culminando en hiperalgesia (Jensen y Finnerup 2014). La explicación anterior confirma que los animales experimentan dolor agudo debido al uso del anillo de goma, lo cual contrapone todo punto de vista de bienestar animal.

Debido a la presencia de dolor agudo y crónico en este procedimiento, es necesario el uso de analgésicos como la lidocaína para el tratamiento de este signo. De manera interesante una comparativa entre el uso del anillo de goma y el burdizzo, el uso de lidocaína no generó una castración totalmente indolora, además no se presentó el descenso de la frecuencia de comportamientos como patadas o lamido en los 15 h posterior a la castración (Thüer *et al.* 2007). Esto posiblemente se contrapone con la lógica sobre el uso de los analgésicos, de hecho resultados reportados de otros autores se ha encontrado que el uso de tratamientos analgésicos como el meloxicam o la lidocaína reduce la concentración plasmática de cortisol y la respuesta conductual de dolor el tiempo de lamido o la frecuencia de patadas (Mellema *et al.* 2007; Marti *et al.* 2018; Nogues *et al.* 2021; Ede *et al.* 2022).

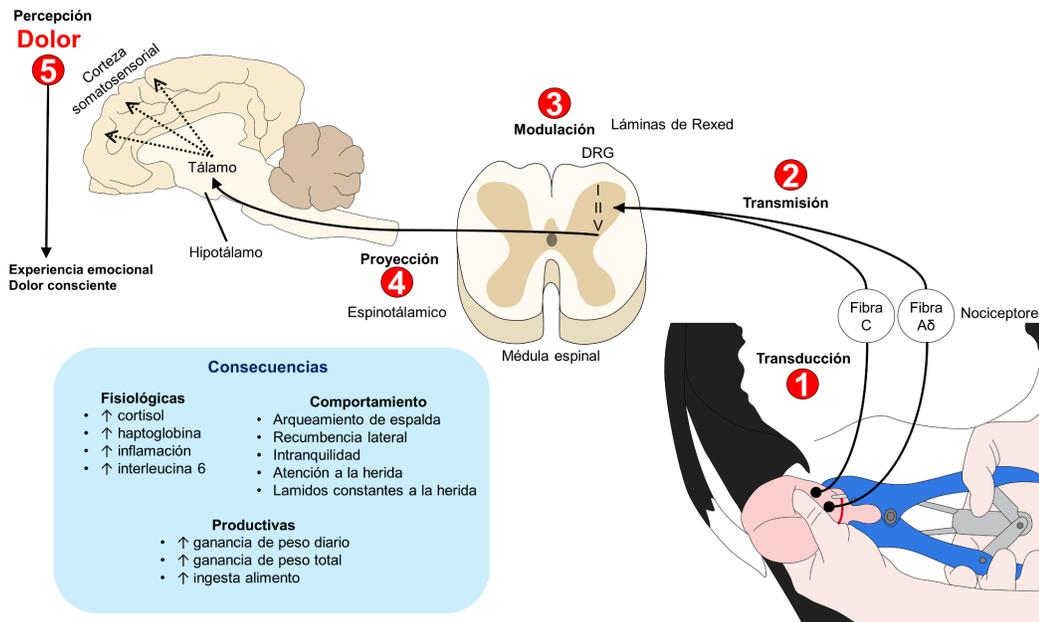
La respuesta inflamatoria tiene influencia en la efectividad que tienen los analgésicos locales para el control del dolor. Desde una perspectiva farmacológica, estos fármacos dependen del pH del medio donde se administran, de tal forma que al encontrarse en un medio ácido estos fármacos pueden ser inactivados (Rioja, 2017). Por tanto, su actividad puede verse limitada o simplemente nulificada. Esto explica porque la inflamación generada por el anillo de goma es el principal causante de la alteración sensitiva durante la castración. Por ello, deben considerarse estrategias distintas para el control de este signo. Por ejemplo, se ha reportado que el uso de analgésicos no esteroideos como el meloxicam en combinación con la lidocaína reduce de forma significativa el nivel de dolor en bovinos durante la castración quirúrgica (Meléndez et al. 2018). Al tomar en cuenta que algunos reportes sostienen que el uso del meloxicam reduce los niveles de haptoglobina, puede incrementar la ganancia de peso diaria e incluso reduce la inflamación escrotal posterior a la castración quirúrgica (Brown et al. 2015; Olson et al. 2016; Roberts et al. 2015; Ellison, 2017). Entonces, es importante tomar en cuenta que la castración quirúrgica es un evento único y el estímulo sensitivo que no se verá afectado por otro factor adicional durante la castración. Sin embargo, el uso del anillo de goma es un evento prolongado que puede tardar hasta 9 días, lo cual prolonga los eventos sensitivos y lleva a la necesidad de tiempos más largos de la administración de analgésicos.

Por tanto, la evidencia científica muestra que el uso del anillo de goma tiene consecuencias sensitivas graves en los animales, lo cual permite cuestionar si este método es adecuado a pesar de ser simple y económico. De igual forma, debido a su método para lograr la castración, la evidencia es contrastante en la efectividad de los tratamientos analgésicos. Por tal motivo, es necesario señalar que debido al proceso inflamatorio es crucial el uso de analgésicos si se pretende castrar a los animales con la finalidad de evitar las consecuencias sensitivas y conservar los beneficios productivos. No sobra decir, que si es necesario cuestionar la necesidad de mantener este método de castración que podría atentar contra el nivel de bienestar animal.

Consecuencias fisiológicas

La percepción del dolor en aquellos animales en los que se emplean los anillos de goma para castración involucra alteraciones que alteran las respuestas fisiológicas (Mota-Rojas *et al.* 2016; Orihuela y Ungerfeld, 2019b). Los cambios fisiológicos a nivel cardiovascular, respiratorio o endocrino se derivan de la activación del sistema nervioso simpático y sus dos principales ejes: el simpático-adreno-medular e hipotálamo-hipófisis-adrenal. La activación de ambas vías genera la secreción de catecolaminas (p. ej., adrenalina, noradrenalina) y glucocorticoides (cortisol), respectivamente. A su vez, estos mediadores interactúan con otros sistemas generando taquicardia, taquipnea, hipertermia, entre otras (Figura 2).

Figura 2. Percepción de dolor en becerros castrados con anillos de goma



La inflamación ocasionada por la interrupción al riego sanguíneo testicular induce la activación de nociceptores en el escroto. La activación de dichas vías del dolor culmina en la percepción consciente del dolor, lo cual conlleva alteraciones fisiológicas, de comportamiento y productivas.

El cortisol se considera uno de los principales indicadores de estrés y dolor en animales de granja (Idris *et al.* 2021; Koenneker *et al.* 2023) especially those kept on high levels of nutrition for the purpose of maximising growth rates, which leads to a significant heat increment in their bodies. Consequences include compromised health and productivity and mortalities during extreme events, as well as serious economic loss. Some measures of heat stress, such as plasma cortisol and temperature in the rectum, vagina, or rumen, are invasive and therefore unlikely to be used on farms. These may cause additional stress to the animal due to handling, and that stress in itself can confound the measure. Consequently, it is desirable to find non-invasive alternatives. Panting score (PS. Por ello, diversos artículos evalúan la respuesta fisiológica del uso de anillos de goma para castración a través de las concentraciones de cortisol y otros marcadores de dolor como la sustancia P y haptoglobina, antes y después del procedimiento. Ejemplo de esto es el estudio realizado por Marti *et al.* (2017) en becerros de diferentes edades (una semana, dos meses, y cuatro meses de edad). Las concentraciones de cortisol salival, así como de sustan-

cia P, haptoglobina, y temperatura rectal de becerros sometidos a castración simulada (grupo control), con anillo de goma, y con cuchillo fueron determinadas. Aunque los autores no mostraron diferencias significativas entre las concentraciones de ninguno de los parámetros, las concentraciones de cortisol salival en animales castrados con anillos (2.05–2.85 nmol/L) fueron mayores a las de castración con cuchillo (1.84–2.43 nmol/L) y al grupo control (1.88–2.60 nmol/L).

De igual forma, Becker *et al.* (2012) tampoco registró diferencias significativas en las concentraciones de cortisol plasmático de becerros Simmental y Simmental×Red Holstein de cuatro a seis semanas de edad sometidos a cinco tipos de castración: 1) con un solo anillo de goma; 2) con un anillo de goma y pinzas Burdizzo (colapso de arterias testiculares); 3) anillo de goma removido nueve días después; 4) tres anillos de goma en el cuello escrotal; y 5) grupo control con castración simulada. Sin embargo, todos los métodos tuvieron un aumento promedio de 3.54 nmol/L. En contraste, la inflamación alrededor del área escrotal mostró que el tercer método tuvo menor inflamación (1cm) que los otros métodos (hasta 7 cm en el uso solitario de un anillo de goma).

Otro estudio que evaluó las concentraciones sanguíneas de cortisol y haptoglobina en becerros Belmont Red de tres y seis meses de edad fue el de Petherick *et al.* (2015). A los 120 minutos de culminado el procedimiento, las concentraciones más altas de cortisol se registraron en becerros de seis meses de edad castrados con anillos de goma (50 nmol/L), a diferencia de la castración quirúrgica (30 nmol/L) y el grupo control (18 nmol/L). Una diferencia similar fue observada en la haptoglobina, la cual fue significativamente más alta al día 14 en los animales castrados con anillos de goma (0.98 mg/mL) que en el grupo control (0.73 mg/mL) y en el procedimiento quirúrgico (0.78 mg/mL). Aunado a estos cambios, los animales castrados con anillos de goma tuvieron una mayor presentación de comportamiento activos como caminar (11%) y movimientos de cola (47 movimientos) (Petherick *et al.* 2015). Esto sugiere que la castración, independientemente de la técnica, es un evento doloroso y estresante para los animales (Fell *et al.* 1986; Marti *et al.* 2017), en el cual el uso de anillos de goma puede generar lesiones al tejido, retrasar la curación de la herida o predisponer a infecciones (Petherick *et al.* 2015).

Resultados similares fueron reportados por Stafford *et al.* (2002), quienes compararon métodos de castración en becerros cruza con Friesian de dos a cuatro meses de edad. Al comparar las concentraciones de cortisol del grupo control (simulación de castración) con la de aquellos castrados con anillos de goma y bandas de goma, los becerros de control no registraron incrementos de cortisol (valores entre 7.0–10.0 nmol/L) después del procedimiento. En contraste, incrementos significativos se encontraron en los otros dos métodos (anillo de goma: basal de 8.1 nmol/L incrementó a 99 nmol/L; banda de goma: de 9.7 nmol/L incrementó a 101 nmol/L). Estos resultados indican que los métodos de castración generan dolor agudo dentro de los primeros 30 minutos, particularmente el método de banda de goma debido a la presión ejercida.

Asimismo, Thüer *et al.* (2007) comparó la respuesta de becerros Simmental o Simmental×Red Holstein de 21–28 días entre animales sin castración y aquellos que fueron castrados con anillos de goma y con la técnica de Burdizzo. Al considerar las concentraciones de cortisol sérico y el comportamiento, se encontró que los animales no castrados y a los que se les colocaron anillos de goma tuvieron bajo puntaje de dolor (1 y 3 puntos, respectivamente), a diferencia de los 6 puntos registrado en el grupo Burdizzo. En cuanto a las concentraciones de cortisol sérico, en ambos métodos de castración hubo un incremento en las concentraciones de aproximadamente 40 nmol/L en el método Burdizzo y de 30 nmol/L con el anillo de goma a los 20 minutos de realizado el procedimiento. No obstante, no se observaron diferencias significativas entre los animales del grupo control y los animales en el grupo anillo de goma a quienes se les administró lidocaína, lo que sugiere que, aunque la castración con anillo de goma genera dolor en los animales, es un grado de dolor menor que el observado con la castración Burdizzo.

Otros estudios reportan que la castración quirúrgica resultó en mayores concentraciones de cortisol salival en becerros de 4–11 semanas de edad (10.2 ± 2.6 nmol/L) que en aquellos castrados con anillos de goma (3.2 ± 0.6 nmol/L) (Fell *et al.* 1986). Estos resultados son similares a lo observado en becerros British Friesian, en quienes las concentraciones de cortisol plasmático no fueron diferentes entre los animales castrados y aquellos en el grupo control (simulación de castración) (mantenidas en 4 ng/mL) (Mellor *et al.* 1991). Pang *et al.* (2009) en becerros Continental de 12 meses de edad castrados con anillos de goma y por la técnica Burdizzo. Al realizar análisis genéticos para determinar el nivel de inflamación, se encontró que aquellos animales castrados con anillos de goma tuvieron una mayor reacción inflamatoria asociada a la expresión de mRNA testicular de interleucina-6 testicular. Algo interesante que fue observado por autores que han comparado métodos de castración, es que la administración de anestésicos locales y analgésicos disminuyó las concentraciones de cortisol en un promedio de 75 nmol/L (Stafford *et al.* 2002). Esto indica que las respuestas adversas de la castración pueden aminorarse con tratamiento encaminado a reducir el dolor.

En cuanto a las respuestas de comportamiento, se ha mostrado que, tanto las técnicas de Burdizzo y el anillo de goma, generan alteraciones en la postura y en el comportamiento. Particularmente, la castración con anillo de goma en becerros de 21–28 días generó un aumento en la presentación de pisadas y patadas (14.5 ± 2.1), inquietud (9.1 ± 1.2) y lamidos al área afectada (1.8 ± 0.3) que animales en el grupo sin castración (o manejo simulando castración) (1.4 ± 0.3 , 0.0 ± 0.0 , y 0.7 ± 0.3 , respectivamente) (Thüer *et al.* 2007). Además, la proporción de posturas anormales como arqueamiento de la espalda o recumbencia lateral con extensión de miembros pelvianos fue mayor en los grupos castrados en las dos primeras horas (Burdizzo: 49.23 ± 23 y anillo goma: 46 ± 28) (Thüer *et al.* 2007).

De manera similar, Molony *et al.* (1995) encontró incrementos en las concentraciones de cortisol plasmático en becerros Ayrshire de una semana de edad, castrados con la técnica Burdizzo, con anillos de goma, con la combinación de ambos métodos, y quirúrgicamente. Aunque los valores más altos fue-

ron registrados en aquellos animales castrados con Burdizzo (80 nmol/L), los becerros con los anillos de goma mantuvieron altas concentraciones de cortisol por más tiempo (entre 50 y 40 nmol/L por 84 minutos vs. 36 minutos). Además, alteraciones en el comportamiento y postura de los becerros como intranquilidad (incidencia de 56), girar la cabeza al sitio de lesión (200 veces), lamer la herida (29.3 veces), parado anormal (39.9 veces), decúbito lateral (75.6 veces) fueron frecuentes en los animales castrados con anillos de goma. Una mayor atención a la herida también fue observada por Nogues *et al.* (2021), quienes reportaron que los animales de 28 días de edad con castración con anillo de goma presentan mayor tiempo de atención de la herida mediante lamidas (16.0 ± 3.3 lamidas más que el grupo control). Debido a ello, los autores concluyeron que la castración con anillos produce mayor dolor a largo plazo y que la técnica Burdizzo se considera una alternativa para mejorar el bienestar de los becerros.

De manera adicional, el efecto que el dolor puede causar a largo plazo ha sido evaluado por Ede *et al.* (2022) en becerros Holstein de 16 días de edad. En esos animales se determinó el grado de aversión a las 48, 72, y 96 horas de becerros castrados quirúrgicamente y aquellos con anillos de goma. No se encontraron diferencias entre ambos grupos y los autores lo atribuyen al efecto farmacológico de los sedantes, anestésicos locales, y analgésicos esteroidales no inflamatorios que contribuyen al manejo multimodal del dolor y evitan una sensibilización que los animales puedan asociar a experiencias negativas. Otros autores mencionan que el dolor después de la castración con anillos de goma puede persistir hasta los 42 días posteriores (Molony *et al.* 1995).

Actualmente se han adoptado nuevas técnicas de evaluación como la termografía infrarroja, un método que puede evaluar aumentos en la temperatura superficial de la piel debido a procesos inflamatorios, patológicos, o cambios vasomotores (Mota-Rojas, *et al.* 2021a; Mota-Rojas, *et al.* 2021b; Gómez-Prado *et al.* 2022; Mota-Rojas *et al.* 2023). Ejemplo de esto es evaluar la temperatura escrotal en becerros de cuatro meses de edad sometidos a castración simulada, con anillo de goma y con cuchillo. En estos animales se encontró que la temperatura escrotal fue similar en el grupo control y en el de castración con cuchillo (36.7 y 36.6 °C, respectivamente), pero fue significativamente mayor en el grupo de anillo de goma (37.8 °C). Estos resultados sugieren que el uso de anillos de goma podría generar una mayor respuesta al estrés o un retraso en la curación de la herida, lo cual también fue observado como un número reducido de plaquetas ($670 \cdot 10^3/\mu\text{L}$) (Marti *et al.* 2017).

De igual manera, Nogues *et al.* (2021) compararon la temperatura superficial del escroto, la respuesta conductual, la cicatrización de la herida, el peso diario y el tiempo que pasaban lamiendo la herida en 21 terneros castrados quirúrgicamente y con anillos de goma. Se observó que la temperatura superficial en la región del escroto fue 1.7 °C más alta cuando se usó el anillo de goma. Estos resultados sugieren que la inflamación del tejido fue mayor con el uso de anillos de goma. Esto también repercute en otros indicadores como la conducta, ya que los animales castrados con anillos de goma disminuyeron en un 4.2% el tiempo de exploración e incrementaron el número de lamidas al sitio de lesión en un

16.0 ± 3.3 número de lamidas por día. Adicionalmente, los mismos autores observaron que aquellos terneros con anillos de goma tuvieron una menor ingesta (1.8 ± 0.6 kg) y menor ganancia de peso (11.9 ± 5.1 kg). A pesar de que se discute que con la castración quirúrgica se pueden generar respuestas conductuales como el incremento de patadas o zancadas, dicha respuesta puede solo enfocarse en el acto quirúrgico (Robertson *et al.* 1994; Roberts *et al.* 2018).

Por tanto, la castración mediante el anillo de goma genera la alteración de parámetros cardiorrespiratorios, hemodinámicos y neuroendocrinos en respuesta al dolor. Esto significa un efecto negativo en la salud y bienestar de los bovinos. Además, la presencia de dolor agudo y la respuesta endocrina podría modificar el rendimiento productivo en cuestión de ganancia de peso o el peso final de los animales, aspecto que serán discutidos a continuación.

Consecuencias productivas

La castración de terneros con anillos de goma causa alteraciones fisiológicas, endocrinas y de comportamiento, las cuales también tienen un impacto en el desempeño productivo, sobre todo en la ganancia diaria de peso (GDP) o en el peso final de los animales (Mota-Rojas, 2014, 2015). Este efecto ha sido evaluado en becerros con una semana, dos meses, y cuatro meses de edad, en quienes se han reportado diferencias significativas de peso final en todas las edades (Marti *et al.* 2017). En aquellos becerros castrados con anillos, se registraron pesos finales promedio de 111, 120, y 202 kg, respectivamente, mientras que los becerros intactos alcanzaron mayor crecimiento con pesos de 114, 126, y 206 kg, respectivamente. Asimismo, Molony *et al.* (1995) reportó menor GDP en becerros castrados con anillos de goma (0.88 ± 0.14 kg) en comparación con animales enteros (0.98 ± 0.15 kg), con la técnica Burdizzo (0.91 ± 0.18 kg), o con castración quirúrgica (0.94 ± 0.09 kg).

El efecto que la inflamación local causada por la castración con anillos de goma también fue observada por Nogues *et al.* (2021), quien encontró que la ganancia de peso total fue menor en becerros de 28 días de nacidos castrados con anillos de goma, en comparación con animales castrados quirúrgicamente (11.9 ± 5.1 kg menos). Asimismo, en otro estudio evaluando el efecto de la castración con anillos de goma, métodos quirúrgicos, y la adición de anestésicos locales (lidocaína), se encontró que todos los animales castrados tuvieron un menor consumo de materia seca (control: 18.2 lb/día vs. 17.5 lb/día) (Rust *et al.* 2007). De manera particular, aquellos donde se utilizaron anillos de goma tuvieron menores GDP (1.63 lb/día vs. 4.60 lb/día), y la administración de lidocaína no mejoró dichos indicadores.

Aunque un estudio comparativo entre cinco métodos de castración no encontró diferencias significativas al registrar los pesos de los animales a las 10 semanas, los animales no castrados tuvieron un peso promedio mayor al final de la evaluación (135–142 kg) que aquellos a los que se les aplicaron

anillos de goma (120–138 kg) (*Becker et al.* 2012). Esto coincide con lo reportado por González *et al.* (2010), quienes evaluaron a 89 terneros Angus de 34 días que fueron castrados con anillo de goma con o sin administración de analgesia. La castración con anillo de goma sin medicación registró un menor consumo de alimento y GDP en la semana cuatro, en conjunto con una reducción del tiempo que los animales permanecen recostados y la longitud de los pasos. Estos resultados sugieren que el dolor o inflamación causada por el método de castración influye de manera significativa en la cantidad de alimento consumido y, por lo tanto, en el peso de los animales, lo cual podría traducirse a pérdidas económicas.

Otro ejemplo es el estudio de Lents *et al.* (2006), quienes compararon la GDP en 168 toros de dos a tres meses de edad castrados con anillos de goma o con implantes de estrógenos (36 mg de zeranol). En los animales con los anillos de goma se registró una GDP significativamente baja, 0.05 kg/día por debajo de las ganancias de los animales implantados. De igual forma, a los 30 días previos al destete, el peso de estos toros se redujo 4.3 kg, lo que sugiere que la castración con anillos afecta la ganancia de peso durante los 30 días subsecuentes. Una revisión realizada por Bretschneider (2005) encontró que la pérdida de peso aumenta cuadráticamente con la edad de castración ($R^2=0.86$). Además, la edad para castrar a los toros se asocia a la calidad de la carne, ya que castraciones a temprana edad disminuyen la frecuencia de cortes oscuros en el canal y mejoran la calidad de la carne al obtener cortes marmoleados y tiernos (Urrutia, 2012).

Los resultados anteriores destacan que la castración con anillos de goma puede tener efectos conductuales como disminuir el tiempo de descanso, y por lo tanto, menos tiempo en la rumia. Esto afecta el rendimiento productivo, obteniendo animales con menor peso al destete o con GDP reducidos. Por tanto, desde una perspectiva productiva debido a la percepción que lleva a experimentar los animales puede causar una disminución del rendimiento productivo de los terneros, en consecuencia, la disminución de la ganancia de peso diaria y menor peso corporal. De modo que debe ser cuestionable su utilidad y consecuencias productivas con la finalidad de mantener los estándares de las unidades de producción.

Aspectos legales

Aunque se ha discutido que la castración con anillos de goma tiene consecuencias sensitivas, productivas y fisiológicas en los animales, a la fecha, es una técnica que se sigue empleando en diversas unidades de producción alrededor del mundo. En una encuesta realizada por Canozzi *et al.* (2022) sobre los factores que influyen en la percepción del nivel de dolor en animales castrados, se encontró que la mayoría de los veterinarios consideraron que los animales de unidades de producción no son tan sensibles al dolor como los animales de compañía y que no hay necesidad de mitigar el dolor. Con estos resultados

se muestra claramente que existe una marcada percepción diferida del dolor que perciben los animales de unidades de producción o criados en fincas ganaderas o complejos agropecuarios y, con ello, se limita su tratamiento. En el caso de los productores, aunque algunos de ellos reconocen que las prácticas rutinarias pueden ser dolorosas para los animales, éstas se llevan a cabo sin analgésicos debido al costo y acceso a los fármacos (Mota-Rojas, 2013; Mota-Rojas *et al.* 2016; Mota-Rojas *et al.* 2018; Orihuela y Ungerfeld, 2019b). De manera que es posible resumir que la falta de capacitación del personal sea el motivo principal por lo que se mantiene esta práctica en las unidades de producción.

En cuanto a la opinión del público en general, García-Castro *et al.* (2022) mencionan que el 85.57% de los consumidores tiene especial interés del nivel de bienestar de los animales destinados a la producción. Nadluenick *et al.* (2022) absence of hunger and thirst, and ability to express motivated behavior, to which farmers usually attach different importance. The objectives of this study were to evaluate animal welfare on Slovenian commercial pig farms, to determine whether farmers' perceived importance of animal welfare differ from actual animal welfare on farms and to determine, if farmer's age, gender, their level of education and participation in vocational training have an influence. For that purpose, we created an Animal Welfare Protocol/Questionnaire for Pig Farms (AWQ/P-P observaron que la puntuación dada por el productor para las condiciones del ambiente, estado de salud y estatus general era entre 0.6–1 puntos significativamente más alta en comparación con el análisis observacional. Estos resultados muestran que existe una discrepancia entre la percepción y las condiciones reales de bienestar de los animales en las unidades de producción, que motiva a mantener este tipo de prácticas.

El ámbito legal ha buscado regular estas prácticas. Por ejemplo, Suiza en su artículo 65 TSchV publicado desde el 2001 sostiene que no está permitido el realizar la castración sin anestesia, citando que “*el uso del anillo de goma está prohibido para tal fin*” (Steiner *et al.* 2002). Esto coincide con la legislación en Reino Unido en la ley de protección de los animales desde 1964, la cual prohíbe el uso de anillos de goma u otro dispositivo para restringir el flujo de sangre al escroto en toros, ovejas, cabras o cerdos a la edad de 2 – 3 meses” (Protection of Animals, 1964). Contrario a estos dos ejemplos, Nueva Zelanda permite el uso de anillos de goma en el ganado vacuno o en ovejas, siempre y cuando se administren analgésicos bajo vigilancia veterinaria (Animal Welfare Regulation, 2021).

Por el contrario, en Latinoamérica la legislación sobre este método no es clara e incluso no está contemplado en las normas o leyes de protección de los animales (Mota-Rojas, 2014). De hecho, un estudio realizado por Teixeira *et al.* (2018) sostiene que el 79.5% de la ciudadanía en la Región Metropolitana de Santiago, Chile, se opone a la castración sin anestesia en los animales de granja. Estos autores observaron que la participación en la producción animales se asoció a una mayor aceptación de las prácticas de manejo y las posibilidades de apoyar la castración sin anestesia. Estos resultados ayudan comprender por qué no existe una regulación sería acerca de estas prácticas en las unidades de producción.

CONCLUSIONES

El uso de anillos de goma es un método simple y económico que se recomienda para facilitar la castración de los animales. No obstante, esta técnica genera inflamación a nivel escrotal y la sensibilización de fibras nociceptivas que culminará en la percepción de dolor.

El uso del anillo de goma ocasiona cambios a nivel fisiológico asociado a la percepción del dolor. En consecuencia, se pueden observar alteraciones en el comportamiento como arqueamiento de la espalda o recumbencia lateral debida al dolor. Asimismo, la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal afecta el rendimiento productivo de los animales al reducir la GDP y el peso final al mercado. Aunque se reconocen los cambios que se pueden observar debido a la castración con anillos de goma, la legislación en torno a este método de castración es limitada; mientras unos países prohíben su uso, otros lo recomiendan siempre y cuando se administren analgésicos. Por el contrario, en Latinoamérica se requiere mayor atención a su uso y, en general, a la importancia de realizar métodos que reduzcan el dolor en animales de producción o a realizarlos junto con un protocolo analgésico que reduzca el dolor y como consecuencia mejore el nivel de bienestar.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdulkhaliq, A. M., Meyer, H. H., Busboom, J. R., y Thompson, J. M., 2007, "Growth, carcass and cooked meat characteristics of lambs sired by Dorset rams heterozygous for the Callipyge gene and Suffolk and Texel rams" *Small Ruminant Research*, 71(1-3), 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.05.005>
- Álvarez Rodríguez, J., Albertí, P., Ripoll, G., Blasco, I., y Sanz, A., 2017, "Effect of castration at 10 months of age on growth physiology and behavior of male feral beef cattle" *Animal Science Journal*, 88(7), 991-998. <https://doi.org/10.1111/asj.12728>
- Archer, N., Johnston, A., y Khalid, M., 2004, "Differences in the acute pain responses of two breeds of lamb following castration and tail docking with the rubber ring method" *Animal Welfare*, 13(2), 135-141. <https://doi.org/10.1017/S0962728600026877>
- Becker, J., Doherr, M. G., Bruckmaier, R. M., Bodmer, M., Zanolari, P., y Steiner, A., 2012, "Acute and chronic pain in calves after different methods of rubber-ring castration" *The Veterinary Journal*, 194(3), 380-385. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.04.022>
- Bell, A., 2018, "The neurobiology of acute pain" *The Veterinary Journal*, 237, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.004>
- Boesch, D., Steiner, A., y Stauffacher, M., 2006, "Kälberkastration: Eine Befragung von Schweizer Mutterkuhhaltern" *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, 148(5), 231-244. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.148.5.231>
- Bretschneider, G., 2005, "Effects of age and method of castration on performance and stress response of beef male cattle: A review" *Livestock Production Science*, 97(2-3), 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.04.006>
- Brown, A. C., Powell, J. G., Kegley, E. B., Gadberry, M. S., Reynolds, J. L., Hughes, H. D., Carroll, J. A., Burdick Sanchez, N. C., Thaxton, Y. V., Backes, E. A., y Richeson, J. T., 2015, "Effect of castration timing and oral meloxicam administration on growth performance, inflammation, behavior, and carcass quality of beef calves" *Journal of Animal Science*, 93(5), 2460-2470. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8695>
- Canozzi, M. E. A., Borges, J. A. R., y Barcellos, J. O. J., 2022, "Which factors can influence the perception of pain by veterinarians and animal scientists from Brazil?" *Journal of Veterinary Behavior*, 47, 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2021.10.003>
- Canozzi, M. E. A., Mederos, A., Manteca, X., Turner, S., McManus, C., Zago, D., y Barcellos, J. O. J., 2017, "A meta-analysis of cortisol concentration, vocalization, and average daily gain associated with castration in beef cattle" *Research in Veterinary Science*, 114, 430-443. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.07.014>

- Colombo, P. C., Onat, D., Harxhi, A., Demmer, R. T., Hayashi, Y., Jelic, S., LeJemtel, T. H., Bucciarelli, L., Kebschull, M., Papapanou, P., Uriel, N., Schmidt, A. M., Sabbah, H. N., y Jorde, U. P., 2014, "Peripheral venous congestion causes inflammation, neurohormonal, and endothelial cell activation" *European Heart Journal*, 35(7), 448–454. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh456>
- Coria Avila, G. A., Herrera-Covarrubias, D., García, L. I., Toledo, R., Hernández, M. E., Paredes-Ramos, P., Corona-Morales, A. A., y Manzo, J., 2022, "Neurobiology of Maternal Behavior in Nonhuman Mammals: Acceptance, Recognition, Motivation, and Rejection" *Animals*, 12(24), 3589. <https://doi.org/10.3390/ani12243589>
- Ede, T., Nogues, E., von Keyserlingk, M. A. G., y Weary, D. M., 2022, "Pain in the hours following surgical and rubber ring castration in dairy calves: Evidence from conditioned place avoidance" *JDS Communications*, 3(6), 421–425. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0241>
- Fell, L. R., Wells, R., y Shutt, D. A., 1986, "Stress in calves castrated surgically or by the application of rubber rings" *Australian Veterinary Journal*, 63(1), 16–18. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1986.tb02864.x>
- Fisher, A., Knight, T., Cosgrove, G., Death, A., Anderson, C., Duganzich, D., y Matthews, L., 2001, "Effects of surgical or banding castration on stress responses and behaviour of bulls" *Australian Veterinary Journal*, 79(4), 279–284. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2001.tb11981.x>
- García Castro, F. E., Medrano-Galarza, C., Cubides-Cárdenas, J. A., Zúñiga López, A., y Ahumada-Beltrán, D. G., 2022, "Consumers perceptions about the welfare of farm animals in Colombia" *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50817. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50817>
- 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-Necochea, 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>
- González, L. A., Schwartzkopf-Genswein, K. S., Caulkett, N. A., Janzen, E., McAllister, T. A., Fierheller, E., Schaefer, A. L., Haley, D. B., Stookey, J. M., y Hendrick, S., 2010, "Pain mitigation after band castration of beef calves and its effects on performance, behavior, Escherichia coli, and salivary cortisol" *Journal of Animal Science*, 88(2), 802–810. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1752>
- Grandin, T., Velarde, A., Strappini, A., Gerritzen, M., Ghezzi, M., Martínez-Burnes, J., Hernández-Ávalos, I., Domínguez-Oliva, A., Casas-Alvarado, A., y Mota-Rojas, D., 2023, "Slaughtering of Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) with and without Stunning: A Focus on the Neurobiology of Pain, Hyperalgesia, and Sensitization" *Animals*, 13(15), 2406. <https://doi.org/10.3390/ani13152406>

- Hernández Avalos, I., Mota-Rojas, D., Mendoza-Flores, J. E., Casas-Alvarado, A., Flores-Padilla, K., Miranda-Cortes, A. E., Torres-Bernal, F., Gómez-Prado, J., y Mora-Medina, P., 2021, “Nociceptive pain and anxiety in equines: Physiological and behavioral alterations” *Veterinary World*, 14(11), 2984–2995. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.2984-2995>
- Huertas, S. M., van Eerdenburg, F., Gil, A., y Piaggio, J., 2015, “Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact” *Veterinary Medicine and Science*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.1002/vms3.2>
- Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., y Phillips, C. J. C., 2021, “Non-Invasive Physiological Indicators of Heat Stress in Cattle” *Animals*, 11(1), 71. <https://doi.org/10.3390/ani11010071>
- Jago, J. G., Bass, J. J., y Matthews, L. R., 1997, “Evaluation of a vaccine to control bull behaviour” *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.*, 57, 91–95.
- Jensen, T. S., y Finnerup, N. B., 2014, “Allodynia and hyperalgesia in neuropathic pain: clinical manifestations and mechanisms” *The Lancet Neurology*, 13(9), 924–935. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70102-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70102-4)
- Katz, L. S., 2007, “Sexual behavior of domesticated ruminants” *Hormones and Behavior*, 52(1), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.012>
- Kenny, F. J., y Tarrant, P. V., 1987, “The behaviour of young Friesian bulls during social re-grouping at an abattoir. Influence of an overhead electrified wire grid” *Applied Animal Behaviour Science*, 18(3–4), 233–246. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(87\)90219-X](https://doi.org/10.1016/0168-1591(87)90219-X)
- Kent, J., Molony, V., y Graham, M., 2001., “The Effect of Different Bloodless Castrators and Different Tail Docking Methods on the Responses of Lambs to the Combined Burdizzo Rubber Ring Method of Castration” *The Veterinary Journal*, 162(3), 250–254. <https://doi.org/10.1053/tvj.2001.0598>
- Kent, J., Molony, V., y Robertson, I., 1995, “Comparison of the Burdizzo and rubber ring methods for castrating and tail docking lambs” *Veterinary Record*, 136(8), 192–196. <https://doi.org/10.1136/vr.136.8.192>
- Kim, S. W., Kim, K. W., Park, S. B., Kim, M. J., y Yim, D. G., 2015., “The effect of castration time on growth and carcass production of elk bulls” *Journal of Animal Science and Technology*, 57(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s40781-015-0072-2>
- Koenneker, K., Schulze, M., Pieper, L., Jung, M., Schmicke, M., y Beyer, F., 2023 “Comparative assessment of the stress response of cattle to common dairy management practices” *Animals*, 13(13), 2115. <https://doi.org/10.3390/ani13132115>
- Lemos Teixeira, D., Larraín, R., Melo, O., y Hötzel, M. J., 2018, “Public opinion towards castration without anaesthesia and lack of access to pasture in beef cattle production” *PLOS ONE*, 13(1), e0190671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190671>

- Lents, C. A., White, F. J., Floyd, L. N., Wettemann, R. P., y Gay, D. L., 2006, “Effects of Method and Timing of Castration and the Use of an Estrogenic Growth Stimulant on Weight Gain of Bull Calves” *The Professional Animal Scientist*, 22(2), 126–131. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31076-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31076-7)
- Marquette, G. A., Ronan, S., y Earley, B., 2023, “Review: castration – animal welfare considerations” *Journal of Applied Animal Research*, 51(1), 703–718. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2273270>
- Marti, S., Meléndez, D. M., Pajor, E. A., Moya, D., Gellatly, D., Janzen, E. D., y Schwartzkopf-Genswein, K. S., 2018, “Effect of a single dose of subcutaneous meloxicam prior to band or knife castration in 1-wk-old beef calves: II. Inflammatory response and healing” *Journal of Animal Science*, 96(10), 4136–4148. <https://doi.org/10.1093/jas/sky291>
- Marti, S., Meléndez, D. M., Pajor, E. A., Moya, D., Heuston, C. E. M., Gellatly, D., Janzen, E. D., y Schwartzkopf-Genswein, K. S., 2017, “Effect of band and knife castration of beef calves on welfare indicators of pain at three relevant industry ages: II. Chronic pain” *Journal of Animal Science*, 95(10), 4367–4380. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1763>
- Martins, L. T., Gonçalves, M. C., Tavares, K. C. S., Gaudêncio, S., Santos Neto, P. C., Dias, A. L. G., Gava, A., Saito, M. E., Oliveira, C. A., Mezzalira, A., y Vieira, A. D., 2011, “Castration methods do not affect weight gain and have diverse impacts on the welfare of water buffalo males” *Livestock Science*, 140(1–3), 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.026>
- Meléndez, D. M., Marti, S., Pajor, E. A., Moya, D., Gellatly, D., Janzen, E. D., y Schwartzkopf-Genswein, K. S., 2018, “Effect of a single dose of meloxicam prior to band or knife castration in 1-wk-old beef calves: I. Acute pain” *Journal of Animal Science*, 96(4), 1268–1280. <https://doi.org/10.1093/jas/sky034>
- Mellema, S. C., Doherr, M. G., Wechsler, B., Thüer, S., y Steiner, A., 2007, “Einfluss der Lokalanästhesie auf Schmerz und Stress verursacht durch unblutige Kastrationsmethoden beim jungen Lamm” *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, 149(5), 213–225. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.149.5.213>
- Mellor, D. J., Molony, V., y Robertson, I. S., 1991, “Effects of castration on behaviour and plasma cortisol concentrations in young lambs, kids and calves” *Research in Veterinary Science*, 51(2), 149–154. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(91\)90005-9](https://doi.org/10.1016/0034-5288(91)90005-9)
- Molony, V., Kent, J. E., 2007, “Sheep welfare: castration and tail docking”, en D.I. Aitken, (ed.), *Diseases of sheep* (4th ed.). Blackwell Publishing, USA, 27–31.
- Molony, V., Kent, J. E., y Robertson, I. S., 1995, “Assessment of acute and chronic pain after different methods of castration of calves” *Applied Animal Behaviour Science*, 46(1–2), 33–48. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)00635-4](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00635-4)

- Mota Rojas, D. 2013, *Neurobiología del dolor y analgesia en animales de granja castrados: aspectos que propician su bienestar*. Posgrado CBS. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Mota Rojas, D. 2014, *¿Castración quirúrgica con o sin anestesia?: Efecto en la calidad de la carne*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Mota Rojas, D. 2015, *El dolor agudo y crónico, aspectos neurobiológicos*. Posgrado CBS. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Mota-Rojas, D., Ceballos, M.C., y Orihuela, A., 2016, “Prácticas dolorosas en animales de granja”, en *“Bienestar animal, una visión global en Iberoamérica”*. Mota-Rojas et al. (Ed). 3er. ed., Elsevier, Barcelona, España, 137–154.
- Mota Rojas, D., Orihuela, A., Strappini-Asteggiano, A., Cajiao-Pachón, M.N., Agüera-Buendía, E., Mora-Medina, P., Ghezzi, M., Alonso-Spilsbury, M.L. 2018, Teaching animal welfare in veterinary schools in Latin America. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*; 6, 131-40. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.07.003>
- Mota Rojas, D., Ogi, A., Villanueva-García, D., Hernández-Ávalos, I., Casas-Alvarado, A., Domínguez-Oliva, A., Lendez, P., y Ghezzi, M., 2023, “Thermal Imaging as a Method to Indirectly Assess Peripheral Vascular Integrity and Tissue Viability in Veterinary Medicine: Animal Models and Clinical Applications” *Animals*, 14(1), 142. <https://doi.org/10.3390/ani14010142>
- Mota Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Lecona-Butrón, H., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Gómez-Prado, J., Orihuela, A., 2021, “Infrared thermal imaging associated with pain in laboratory animals. *Experimental Animals*, 70(1), 1–12. <https://doi.org/10.1538/expanim.20-0052>
- Mota Rojas, D., Pereira, A. M. F., Wang, D., Martínez-Burnes, J., Ghezzi, M., Hernández-Avalos, I., Lendez, P., Mora-Medina, P., Casas, A., Olmos-Hernández, A., Domínguez, A., Bertoni, A., y de Mira Geraldo, A., 2021, “Clinical Applications and Factors Involved in Validating Thermal Windows Used in Infrared Thermography in Cattle and River Buffalo to Assess Health and Productivity” *Animals*, 11(8), 2247. <https://doi.org/10.3390/ani11082247>
- Nadlučnik, E., Golinar Oven, I., Tomažič, I., Plut, J., Dovč, A., y Štukelj, M., 2022, “Discrepancies between farmers’ perceptions and actual animal welfare conditions on commercial pig farms” *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1010791>
- Nogues, E., von Keyserlingk, M. A. G., y Weary, D. M., 2021, “Pain in the weeks following surgical and rubber ring castration in dairy calves” *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12881–12886. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20127>
- Obritzhauser, W., Deutz, A., y Köfer, J., 1998, “Comparison of two castration methods in cattle: plasma cortisol levels, leukocyte count and behavioral changes” *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere*, 26(3), 119–126.

- Olson, M. E., Ralston, B., Burwash, L., Matheson-Bird, H., y Allan, N. D., 2016, "Efficacy of oral meloxicam suspension for prevention of pain and inflammation following band and surgical castration in calves" *BMC Veterinary Research*, 12(1), 102. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0735-3>
- Orihuela, A., y Ungerfeld, R., 2019a, "Castración", en *Prácticas Zootécnicas Dolorosas: Evaluación y Alternativas para el Bienestar Animal*, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México, 35–78
- Orihuela, A., y Ungerfeld, R., 2019b, "*Prácticas zootécnicas dolorosas. Evaluación y alternativas para el bienestar animal*", Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.
- Pang, W., Earley, B., Sweeney, T., Gath, V., y Crowe, M. A., 2009, "Temporal patterns of inflammatory gene expression in local tissues after banding or burdizzo castration in cattle" *BMC Veterinary Research*, 5(1), 36. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-5-36>
- Partida, J. A., Olleta, J. L., Campo, M. M., Sañudo, C., y María, G. A., 2007, "Effect of social dominance on the meat quality of young Friesian bulls" *Meat Science*, 76(2), 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.008>
- Paull, D. R., Small, A. H., Lee, C., Palladin, P., y Colditz, I. G., 2012, "Evaluating a novel analgesic strategy for ring castration of ram lambs" *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 39(5), 539–549. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2012.00716.x>
- Petherick, J. C., Small, A. H., Reid, D. J., Colditz, I. G., y Ferguson, D. M., 2015, "Welfare outcomes for 3- and 6-month-old beef calves in a tropical environment castrated surgically or by applying rubber rings" *Applied Animal Behaviour Science*, 171, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.08.018>
- Price, E. O., Adams, T. E., Huxsoll, C. C., y Borgwardt, R. E., 2003, "Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone" *Journal of Animal Science*, 81(2), 411–415. <https://doi.org/10.2527/2003.812411x>
- Protection of Animals, 2007, "Anaesthetics Act 1964" disponible en: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1964/39>
- Prunier, A., Bonneau, M., von Borell, E. H., Cinotti, S., Gunn, M., Fredriksen, B., Giersing, M., Morton, D. B., Tuytens, F. A. M., y Valverde, A., 2006, "A review of the welfare consequences of surgical castration on piglets and the evaluation of non-surgical methods" *Animal Welfare*, 15(3), 277–289.
- New Zealand Legislation, 2018, "Animal Welfare (Care and Procedures) Regulation" disponible en: <https://www.legislation.govt.nz/regulation/public/2018/0050/latest/whole.html>
- Repenning, P. E., Ahola, J. K., Callan, R. J., French, J. T., Giles, R. L., Bigler, B. J., Coetzee, J. F., Wulf, L. W., Peel, R. K., Whittier, J. C., Fox, J. T., y Engle, T. E., 2013, "Impact of oral meloxicam administration before and after band castration on feedlot performance and behavioral response

- in weanling beef bulls” *Journal of Animal Science*, 91(10), 4965–4974. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6070>
- Rioja Garcia, E., 2017, “Local Anesthetics” en *Veterinary Anesthesia and Analgesia*, John Wiley & Sons, USA, 332–354. <https://doi.org/10.1002/9781119421375.ch17>
- Roberts, S. L., Hughes, H. D., Burdick Sanchez, N. C., Carroll, J. A., Powell, J. G., Hubbell, D. S., y Richeson, J. T., 2015, “Effect of surgical castration with or without oral meloxicam on the acute inflammatory response in yearling beef bulls” *Journal of Animal Science*, 93(8), 4123–4131. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9160>
- Roberts, S. L., Powell, J. G., Hughes, H. D., y Richeson, J. T., 2018, “Effect of castration method and analgesia on inflammation, behavior, growth performance, and carcass traits in feedlot cattle” *Journal of Animal Science*, 96(1), 66–75. <https://doi.org/10.1093/jas/skx022>
- Robertson, I. S., Kent, J. E., y Molony, V., 1994, “Effect of different methods of castration on behaviour and plasma cortisol in calves of three ages” *Research in Veterinary Science*, 56(1), 8–17. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(94\)90189-9](https://doi.org/10.1016/0034-5288(94)90189-9)
- Rust, R. L., Thomson, D. U., Loneragan, G. H., Apley, M. D., Swanson, J. C., 2007, “Effect of different castration methods on growth performance and behavior responses of postpubertal beef bulls” *The Bovine Practitioner*, 111–119. <https://doi.org/10.21423/bovine-vol41no2p111-119>
- Sherwood, E. R., y Toliver-Kinsky, T., 2004, “Mechanisms of the inflammatory response” *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 18(3), 385–405. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2003.12.002>
- Stafford, K., Mellor, D., Todd, S., Bruce, R., y Ward, R., 2002, “Effects of local anaesthesia or local anaesthesia plus a non-steroidal anti-inflammatory drug on the acute cortisol response of calves to five different methods of castration” *Research in Veterinary Science*, 73(1), 61–70. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(02\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(02)00045-0)
- Stafford, K. J., Mellor, D. J., y McMeekan, C. M., 2000, “A survey of the methods used by farmers to castrate calves in New Zealand” *New Zealand Veterinary Journal*, 48(1), 16–19. <https://doi.org/10.1080/00480169.2000.36151>
- Stafford, K., y Mellor, D., 2005, “The welfare significance of the castration of cattle: A review” *New Zealand Veterinary Journal*, 53(5), 271–278. <https://doi.org/10.1080/00480169.2005.36560>
- Steiner, A., Bettschart, R., y Schatzmann, U., 2002, “Kastration von männlichen Lämmern und Kälbern: Erläuterungen und Kommentare zu Art. 65 TschV” *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, 144(3), 107–113. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.144.3.107>
- Tarrant, P. V., 1989, “Animal Behaviour and Environment in the Dark- Cutting Condition in Beef- A Review” *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 13(1), 1–21.
- Thornton, P. D., y Waterman-Pearson, A. E., 2002, “Behavioural Responses to Castration in Lambs” *Animal Welfare*, 11(2), 203–212. <https://doi.org/10.1017/S0962728600028153>

- Thüer, S., Mellema, S., Doherr, M. G., Wechsler, B., Nuss, K., y Steiner, A., 2007, “Effect of local anaesthesia on short- and long-term pain induced by two bloodless castration methods in calves” *The Veterinary Journal*, 173(2), 333–342. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2005.08.031>
- Ting, S. T. L., Earley, B., Hughes, J. M. L., y Crowe, M. A., 2003, “Effect of ketoprofen, lidocaine local anesthesia, and combined xylazine and lidocaine caudal epidural anesthesia during castration of beef cattle on stress responses, immunity, growth, and behavior” *Journal of Animal Science*, 81(5), 1281–1293. <https://doi.org/10.2527/2003.8151281x>
- Urrutia, N. C., 2012, “Técnicas de castación del ganado bovino” *TecnoVet*, 12, 24–26.

El descornado en bovinos: neurobiología del dolor y repercusiones conductuales

Daniel Mota Rojas^{1*}, Fabio Napolitano², Adolfo Álvarez Macías¹, Karina Lezama García¹, Adriana Domínguez Oliva¹, Brenda Reyes Sotelo¹ y Agustín Orihuela³

Resumen. En unidades de producción bovina el descornado y el desbotone son procedimientos rutinarios cuya finalidad es reducir y/o evitar lesiones tanto al personal como a congéneres. Se trata de una práctica aceptada en diversas regulaciones internacionales, en las cuales se establecen las técnicas permitidas como pasta cáustica, cauterización o intervención quirúrgica. Además, se incluyen otras especificaciones como edad de los animales y, en algunos países, se especifica la administración de analgésicos, considerando que los cuernos son estructuras altamente vascularizadas e inervadas cuya amputación genera dolor. El objetivo de la presente revisión es discutir las técnicas de descornado y desbotone en bovinos y sus posibles complicaciones, teniendo como eje la neurobiología del dolor y aspectos etológicos relevantes en torno a esta práctica. Se han evaluado las técnicas de descornado/desbotone y se han reportado alteraciones fisiológicas como aumentos en las concentraciones de cortisol y alteraciones conductuales asociadas al dolor. Para atender estas respuestas conductuales se procede a bloqueos con anestésicos locales, los cuales son recomendados para mitigar el dolor y otras complicaciones.

Palabras clave: Desbotone, Descornado, Pasta cáustica, Cauterización, Métodos quirúrgicos, Analgésicos locales.

Abstract. In cattle production units, dehorning and disbudding are routine procedures aimed at reducing and/or preventing injuries to both personnel and fellow animals. It is an accepted practice in several international regulations, which establish permitted techniques such as caustic paste, cauterization or surgical

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

² Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

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

intervention. In addition, other specifications are incorporated, such as the age of the animals and, in some countries, the administration of analgesics is specified, considering that horns are highly vascularized and innervated structures whose amputation generates pain. The objective of the present review is to discuss dehorning and disbudding techniques in cattle and their possible complications, having as axis the neurobiology of pain and ethological aspects relevant to this practice. The dehorning/disbudding techniques have been evaluated and physiological alterations such as increases in cortisol concentrations and behavioral alterations associated with pain have been reported. To address these behavioral responses, local anesthetic blocks are recommended to mitigate pain and other complications.

Keywords: *Disbudding, Dehorning caustic paste, Hot iron, Surgical method, Local analgesics.*

INTRODUCCIÓN

La gestión de la mayoría de las unidades productivas de producción bovina se orienta a optimizar su rendimiento considerando el máximo nivel de bienestar animal desde el nacimiento hasta la muerte, favoreciendo la interacción humano-animal positiva y tratando de disminuir los riesgos inherentes a la actividad (Orihuela *et al.* 2018; Mota-Rojas *et al.* 2020; Grandin *et al.* 2023). Con ese fin se han adoptado diversas rutinas zootécnicas y se viene experimentado con otras, lo que siempre genera puntos de vista contrastados. En ese sentido, el descornado es una práctica común en las unidades de producción bovina, sin embargo, no existe consenso en torno a aplicación y, por otro lado, es una de las menos estudiadas a través de la investigación científica (Mota-Rojas *et al.* 2016).

El descornado es una técnica recurrente en muchos países, que consiste en la resección de los cuernos en bovinos mayores de dos meses de edad (Cozzi *et al.* 2015), tanto en hembras como en machos (Porter, 2007). Esta práctica se realiza con el objetivo de reducir riesgos y lesiones tanto para el personal durante el manejo como de sus congéneres (Aubry, 2005). Sin embargo, esta técnica genera dolor en los animales y, aunque existen métodos para atenuarlo, se prosiguen las investigaciones para afinar esta técnica y disminuir las afectaciones desencadenadas.

Con esos antecedentes, el objetivo de este artículo consistió en una revisión de las técnicas de descornado en bovinos y sus posibles implicaciones considerando la neurobiología del dolor, así como sus repercusiones en aspectos conductuales. Para ello, se llevó a cabo una amplia búsqueda bibliográfica especializada y su análisis para, primero, caracterizar en que consiste la práctica del descornado y, en un segundo plano, examinar cuáles son las técnicas predominantes, las complicaciones inherentes y los tratamientos del dolor que se han movilizad.

Bases del descornado en las unidades de producción bovina

Aunque se ha avanzado en el mejoramiento genético para obtener ganado sin cuernos, especialmente en el europeo, el descornado es una práctica que se lleva a cabo en gran parte de los bovinos de forma rutinaria. Cozzi *et al.* (2015), estiman que en Europa en alrededor del 80% del bovino lechero se realiza este manejo y en el 60% del destinado a la producción de carne. Prevenir el crecimiento de los cuernos mediante su mutilación o la disrupción del tejido germinal del botón córneo es una práctica dolorosa que conlleva alteraciones fisiológicas y de comportamiento en este tipo de animales (Weyl-Feinstein *et al.* 2021).

En rumiantes silvestres, se ha evidenciado que los cuernos, además de servirles para su defensa ante otros animales, también funcionan como signos de atracción para las hembras en la temporada reproductiva (Bro-Jørgensen, 2007). Los cuernos son proyecciones óseas y huecas del hueso frontal, recubiertas por una capa de queratina externa (Picard *et al.* 1996; Algra *et al.* 2023) Debido a que son estructuras en constante crecimiento, se encuentran densamente inervadas y provistas de vasos sanguíneos. La inervación es proporcionada por la rama cornual del nervio trigémino (Algra *et al.* 2023) mientras que la irrigación proviene de la arteria cornual (Picard *et al.* 1996). Por estas características el descornado y el desbotone provocan dolor, dada la activación de dichas fibras nerviosas.

Independientemente del método de desbotone o descornado, los procedimientos involucran eventos que pueden generar una respuesta inflamatoria en los animales y, en consecuencia, dolor (Stock *et al.* 2013; Weyl-Feinstein *et al.* 2021). La percepción del dolor culmina en una serie de cambios fisiológicos, entre los que se encuentra la activación simpática con la consecuente liberación de mediadores asociados al dolor y proinflamatorios (por ejemplo glucocorticoides, catecolaminas, citocinas) (Stafford y Mellor, 2011; Stock *et al.* 2013). La presencia de estas sustancias influye en las alteraciones conductuales como el aumento de las sacudidas de cabeza (Stilwell *et al.* 2009).

La presentación, frecuencia o intensidad de estos cambios forma parte del repertorio conductual que los productores y médicos veterinarios deben de evaluar para reconocer el dolor (Mota-Rojas *et al.* 2016; Mota-Rojas *et al.* 2024a,b,c,d). La evaluación de prácticas cotidianas en animales de granja, a través de cambios fisiológicos y de comportamiento, no sólo permite identificar si causan dolor, sino también proponer prácticas alternativas y establecerlas como un requerimiento normativo para llevarlas a cabo (por ejemplo, analgésicos locales) (Fierheller *et al.* 2012; Orihuela *et al.* 2018; Mota-Rojas *et al.* 2024c,d). Proveer a los animales un manejo libre de estrés y dolor promueve su bienestar y, desde una perspectiva de producción, podría incrementar su rendimiento (Orihuela *et al.* 2018; Mota-Rojas *et al.* 2020; Mota-Rojas *et al.* 2022; Reedman *et al.* 2021; Drwencke *et al.* 2023).

Existe una excepción sobre esta práctica fuera del ámbito científico, ya que parte de los productores de bovinos no descornan a los animales debido a que son destinados a labores de trabajo como tiro de carretas o en labores agrícolas, de modo que los cuernos sirven para sujetar los arneses (Orihuela

y Ungerfeld, 2019). Aunado a esto, la presencia de cuernos puede ayudar a la defensa contra depredadores en los animales criados en sistemas extensivos (Waiblinger *et al.* 2001). Incluso en la normativa de los sistemas de producción orgánica se indica que los cuernos deben ser conservados (Orihuela y Ungerfeld, 2019).

Entonces ¿Por qué el descornado se lleva a cabo en la mayoría del ganado bovino? Parte de las respuestas apuntan a lo reportado en distintos estudios basados en encuestas, apareciendo como razón predominante la de mantener la seguridad del personal y evitar agresiones entre los animales, aunque diversos autores han advertido sobre el dolor agudo que suscita esta práctica (Hötzel y Sneddon, 2013; Cozzi *et al.* 2015; Kling-Eveillard *et al.* 2015; Mota-Rojas *et al.* 2016; Staněk *et al.* 2018).

La Asociación Americana de Médicos Veterinarios (2014) sostiene que en bovinos la presencia de cuernos puede inducir lesiones debido a interacciones antagonistas en la competencia por el alimento, provocando que los animales más temperamentales dominen con cierta violencia en estos casos (Cardoso *et al.* 2016). Estos argumentos refuerzan la idea que el descorne funciona como una medida de prevención y de seguridad no solo para el productor, sino además para los mismos animales.

Sin embargo, Kling- Eveillard *et al.* (2015), realizaron un estudio donde aplicaron entrevistas a 94 productores de Italia, Alemania y Francia en diferentes regiones ganaderas, a través de las cuales recopilamos argumentos a favor de conservar los cuernos en los animales, que estaban relacionados con consideraciones éticas, estéticas y turísticas. Sin embargo, bajo una visión productiva la presencia de cuernos en los animales puede incidir en demeritar la calidad de la carne. Por ejemplo, Strappini *et al.* (2009) señalan que con la presencia de cuernos se incrementa el número de hematomas y, por ende, las pérdidas en canales por estas lesiones derivadas. Al respecto diversos autores señalan que por hematomas el desperdicio de la canal se duplica cuando en corrales de engorda existen animales con cuernos (Meischke *et al.* 1974; Shaw *et al.* 1976; Wythes *et al.* 1979; Broom, 2019). Esto coincide en un reporte de caso elaborado por Youngers *et al.* (2017), quienes evaluaron la relación entre animales con cuernos y la prevalencia de hematomas en 4,287 cadáveres de carne comercial de ganado de engorda. Estimaron que en los animales hubo una prevalencia de 61.8% de hematomas.

Otro factor relacionado acerca de las lesiones presentes en grandes rumiantes es el transporte y el manejo durante esta fase. De acuerdo con José Pérez *et al.* (2022), el traslado de los animales puede conllevar a experimentar estrés térmico debido al cambio del ambiente, el cual se puede acentuar por factores tales como el número de animales, la habilidad del conductor e incluso la condición del camino pueden influir en que se registren lesiones, que suelen aumentar cuando los animales mantienen los cuernos.

La importancia de la prevención de los hematomas en los animales debe examinarse desde una perspectiva amplia ya que, aunque los hematomas generan una degradación más rápida de la carne, la presencia de sangre genera un microambiente propicio para la proliferación de bacterias y, por ende, dicha carne no es apta para el consumo humano (Meischke *et al.* 1974; Shaw *et al.* 1976; Mota-Rojas

et al. 2016; Orihuela y Ungerfeld, 2019). Sin embargo, desde el punto de vista del bienestar del animal, un hematoma es una fuente indiscutible de dolor agudo, por lo que éticamente resulta imprescindible que se prevengan estas eventuales lesiones de los animales (Gregory, 2004; Gregory y Grandin 2007).

El argumento de que el descorne puede mejorar el manejo de los animales debido a que son menos agresivos puede ser relativo (Loretz *et al.* 2004). A menudo los animales sin cuernos son menos agresivos, sin embargo, puede resultar que simplemente tienen un temperamento más tranquilo (Goonewardene y Hand, 1991). Otros autores sostienen que entre la presencia y la ausencia de cuernos no existen diferencias en el temperamento de los animales (Tulloh, 1961; Goonewardene *et al.* 1999). De hecho, con base en un estudio realizado por Reiche *et al.* (2020), en el cual evaluaron el efecto a largo plazo del descornado en 152 novillos sobre las conductas agonísticas y la actividad general, se encontró que los animales sin cuernos presentaron más reacciones relacionadas al miedo en comparación con los animales con cuernos, aunque estos últimos presentaron más interacciones agonísticas. Con ello, los autores coincidieron en que el temperamento podría estar ligado a factores como el ambiente, la genética y las experiencias previas del animal y no a un factor netamente fenotípico.

Métodos de descorne y desbotone

Existen diferentes modalidades para recortar los cuernos o prevenir su crecimiento, las cuales dependen en parte, de la edad de los animales. Cuando se realiza en animales menores a tres semanas de edad, en los cuales los cuernos exhiben una longitud de entre 5 y 10 mm, se le denomina desbotonado o desmoche (Heinrich *et al.* 2010) y cuando se realiza en animales maduros se le designa como descornado (Stafford y Mellor 2005). Se trata de procedimientos empleados en producciones de ganado de carne y también de leche y suele realizarse cuando los animales cumplen los dos meses (Espinoza *et al.* 2013; Mota-Rojas *et al.* 2016).

Desbotone con pasta cáustica

El desbotone (también llamado desmechado) con pasta cáustica se considera un método químico para remover el botón corneo en terneros (Reedman *et al.* 2020). Consiste en aplicar una sustancia sumamente alcalina (hidróxido de calcio y sodio) con un pH de 14 para generar una quemadura química, destruyendo el tejido germinal del botón corneo (Winder *et al.* 2017; Drwencke *et al.* 2023). Esta práctica es recomendada para becerros de menos de una semana de edad; sin embargo, en países como Estados Unidos y Canadá, la pasta cáustica se aplica en animales de dos a cuatro semanas de edad (Winder *et al.* 2017).

Aunque la pasta elimina efectivamente las células germinales del cuerno, a medida que se seca provoca heridas en el tejido circundante, las cuales tardan en sanar un promedio de 16 a 19 semanas (Drwencke *et al.* 2023). Las lesiones tisulares se acompañan de dolor agudo dentro de las tres horas posteriores al desbotone (Reedman *et al.* 2020). A pesar del potencial dolor que induce, se ha informado que únicamente el 6% de los productores emplea un protocolo analgésico al optar por la pasta cáustica, en contraste con el 30% de productores que decide por algún tipo de analgesia al realizar el desbotone por cauterización (Stafford y Mellor, 2011; Adams *et al.* 2015).

Otros reportes indican que, a diferencia de la cauterización, el uso de pasta cáustica suele generar lesiones más amplias y severas. Por ejemplo, al tomar biopsias del tejido en becerros desbotonados con cauterización y aquellos a quienes se les aplicó pasta cáustica a los seis días de edad, se encontró que aquellos que recibieron el segundo método mostraron necrosis licuefactiva en la epidermis y la dermis, la cual se extendió más allá de la zona cornual, es decir, en todas las regiones donde la piel estuvo expuesta a la pasta (Lindén *et al.* 2023). Esto también se asocia al retraso en la curación de la herida en becerros que han recibido la pasta, en quienes se observa una recuperación de aproximadamente 19 semanas, en contraste con aquellos animales que no fueron descornados (Drwencke *et al.* 2023).

Diversos estudios han evaluado el efecto del desbotone con pasta cáustica en terneros mediante las concentraciones de cortisol o los cambios de comportamiento asociados al dolor (Stilwell *et al.* 2009; Drwencke *et al.* 2023). En este sentido, Stilwell *et al.* (2009) comparó el efecto del desbotone con pasta cáustica en el comportamiento y concentraciones de cortisol en terneros Holstein de 22 a 28 días de edad. En comparación con el grupo control (no descornados), los animales a los cuales se les aplicó la pasta cáustica registraron mayores concentraciones de cortisol plasmático durante la primera hora post procedimiento (14.54 ± 9.25 nmol/L vs. 62.64 ± 10.32 nmol/L). Además, se observó un aumento en la incidencia de comportamientos poco comunes como sacudidas de cabeza, movimientos de oreja, frotamiento de cabeza y transiciones entre ponerse de pie y acostarse, desde los 15 minutos después del procedimiento, en terneros desbotonados (6.38 ± 1.77 vs. 0.6 ± 0.74 en grupo control). Resultados similares fueron reportados por el mismo grupo de investigación en terneras Holstein-Friesian de 10 a 40 días de edad, en donde el uso de analgesia preventiva no fue suficiente para prevenir los incrementos en las concentraciones de cortisol sanguíneo (Stilwell *et al.* 2008).

Estos resultados indican que la pasta cáustica genera dolor y, con ello, distrés en los becerros. Dicha información se contrapone con la opinión generalizada de que el uso de pasta cáustica es menos doloroso que la cauterización u otros métodos de desbotone (Winder *et al.* 2017). De acuerdo con los cambios en parámetros fisiológicos y de comportamiento, se puede inferir el dolor agudo que perciben los animales. Esta relación entre los incrementos de cortisol y las alteraciones de comportamiento de acuerdo con el método de desbotone ha sido reportada por Stilwell *et al.* (2007) en terneras Holstein-Friesian de 25 días de edad. En el mismo sentido, al comparar los métodos de *scoop dehorning* (este procedimiento implica el uso de una herramienta especial llamada “scoop dehorner” o “scooper”, que tiene una forma

similar a una cuchara con bordes afilados), cauterización y pasta cáustica, se encontró que las mayores concentraciones de cortisol plasmático a la hora de efectuado el procedimiento fueron en el grupo de *scoop* (90.13 nmol/L) y del de pasta (62.64 nmol/L). Además, los animales a los que se les aplicó pasta tuvieron una mayor incidencia de comportamientos asociados al dolor como sacudidas de cabeza, movimientos de oreja y frotamientos de cabeza contra superficies a los 15 minutos después de realizado el procedimiento (6.38%) (Stilwell *et al.* 2007).

Por otro lado, aunque Reedman *et al.* (2020) no registraron incrementos significativos en las concentraciones de haptoglobina, mientras que el nivel de cortisol incrementó a más de 250 pg/ml en los primeros 30 minutos. Los aumentos de haptoglobina de hasta 0.1 mg/ml en animales desbotonados con pasta cáustica se asocian con una probabilidad de 1.20 a 1.34 veces de presentar diarrea u otra enfermedad sistémica tres días posteriores al procedimiento (Reedman *et al.* 2021). Esto puede derivar en efectos negativos tanto en la salud animal como en los niveles productivos de las granjas lecheras.

El uso de la pasta también conlleva consecuencias a largo plazo como hipersensibilidad del tejido circundante al cuerno, como se ha documentado en terneras Holstein y Jersey de tres días de edad (Drwencke *et al.* 2023). En estos animales se registró una mayor sensibilidad mecánica en los botones de los cuernos de animales a los que se les colocó pasta cáustica (aproximadamente 1.3 N vs. 1.5 N en el grupo control). Una mayor sensibilidad (evaluada a través de algometría) también fue registrada en terneras Holstein-Friesian a los 60 minutos de aplicada la pasta cáustica, con puntajes de 4.4 kgf por encima de los grupos control y aquellos que recibieron anestésicos locales (Winder *et al.* 2017). Adicionalmente, en este mismo estudio se observó un incremento en la frecuencia cardíaca (162–164 latidos por minuto), frecuencia respiratoria (38–46 respiraciones por minuto) y mayor incidencia de sacudidas de cabeza y de cola (más de 10 veces/2 min), que han sido indicadores asociados al dolor. De igual forma, otros autores han reportado alteraciones en la respuesta afectiva o conductas afiliativas de los animales al desbotone con pasta cáustica.

En cuanto a su regulación, el Código de Práctica en Animales de Granja del Reino Unido menciona que el uso de la pasta está permitido en becerros menores de una semana de edad, siempre y cuando se administre anestesia local (Stafford y Mellor, 2005). En otros países como Nueva Zelanda y Canadá, los comités de bienestar animal aprueban la práctica sólo en animales de entre siete y diez días de edad (Winder *et al.* 2017).

Las implicaciones de la cauterización

Este procedimiento suele realizarse en animales de entre cuatro y ocho semanas de vida (Doherty *et al.* 2007). A través de su aplicación se destruyen las capas de la dermis y epidermis llegando hasta el tejido subcutáneo, provocando con ello edema y daño que se extiende más allá del sitio cauterizado (Junger

et al. 2002). Como otras técnicas utilizadas con este fin, puede ocasionar dolor agudo el cual se evidencia por cambios conductuales de los animales (Vickers *et al.* 2005).

Para llevar a cabo la cauterización de los cuernos se requiere de un hierro candente o de descornadores eléctricos o de gas que se calientan hasta llegar a una temperatura aproximada de 600 °C (Graf y Senn, 1999). Al manejarse estas elevadas temperaturas de manera inadecuada se puede correr el riesgo de lesionar más allá del cuerno y alcanzar estructuras cerebrales importantes, provocando daños irreversibles (Orihuela y Ungerfeld, 2019).

Amputación total del cuerno

Se trata de uno de los procedimientos más dolorosos que se emplean para descornar a los animales, aunado a que, al llevarse a cabo en edades más avanzadas, la irrigación y la disposición de los nervios que conforman el cuerno han alcanzado un mayor desarrollo, y, por ende, una mayor sensibilidad (Sylvester *et al.* 1998). Por ello, para su realización se sugiere la aplicación de anestesia local (Mintline *et al.* 2013) y, en casos extremos, anestesia general (Mota-Rojas *et al.* 2016; Orihuela y Ungerfeld, 2019).

Esta técnica se realiza por medio de tijeras, guillotinas o tenazas, aunque también suelen emplearse sierras manuales o eléctricas, fetótomo de hilo metálico cortante o sierra de Liess, ligas elásticas en la base del cuerno, las cuales ocasionan desprendimiento a la larga del cuerno por necrosis (Neely *et al.* 2014).

Finalmente, dentro de las alternativas propuestas para evitar el descornado ha surgido la opción de animales genéticamente modificados para que no desarrollen los cuernos y, de esta manera, evitar la instrumentación de esta práctica dolorosa en el ganado, además de ahorrar tiempo y recursos en su ejecución (Mota-Rojas *et al.* 2016).

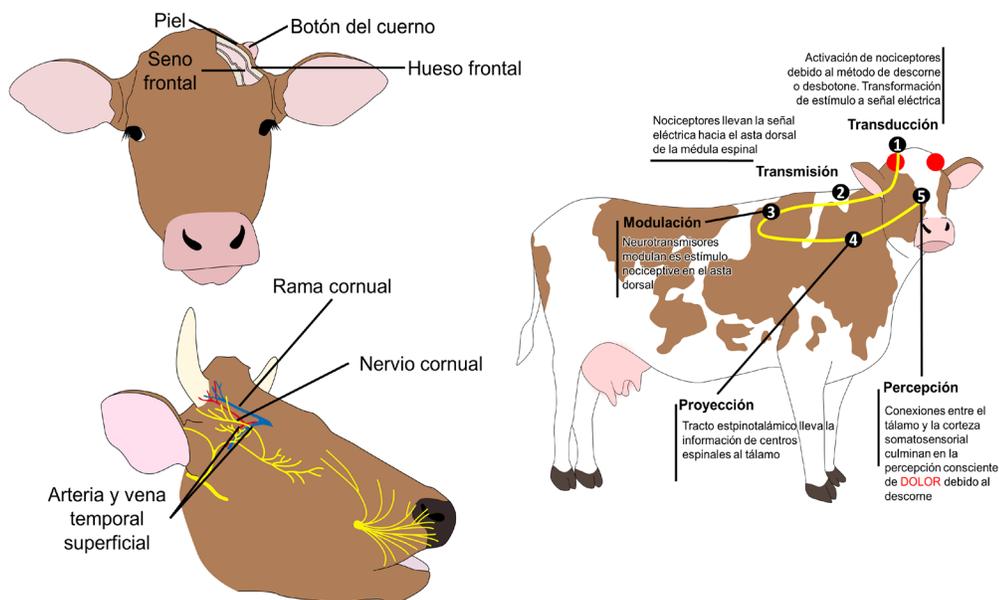
Complicaciones y manejo del dolor del descornado del ganado bovino

Cuando el desbotone o descornado no es llevado a cabo por personal capacitado o por un veterinario, pueden llegar a surgir complicaciones dentro de las cuales las más comunes son: cierre tardío de la herida ocasionado por un corte del cuerno muy cercano al cráneo y que la cicatrización se vea retrasada ante la ampliación de la lesión (Bailey, 1984); la contaminación de la herida por insectos o microorganismos (Neely, 2013); la presentación de sinusitis ocasionada por la presencia de polvo o diversos agentes infecciosos (Mobini, 1991) y, en casos severos, meningitis (White, 2004).

El cuerno se encuentra constituido por una capa densa de queratina, está irrigado a partir de una ramificación de la arteria auricular y temporal e inervado por una ramificación del nervio zigomático

(Figura 1) (ICVGAN, 2017). Al ser una estructura con estas características anatómicas, el hecho de realizar prácticas como el descornado puede generar dolor agudo en el animal (Graf y Senn, 1999). La evaluación y el reconocimiento de dicho dolor se puede observar a través de cambios conductuales tales como dejarse caer, empujar fuertemente, dar golpes de cabeza, acicalarse excesivamente, frotarse contra superficies, ponerse en pie o tumbarse, dar patadas con miembros posteriores, realizar movimientos bruscos de cola, de cabeza, de orejas y la disminución del tiempo de rumia, cambios que se manifiestan durante el descornado o en lapsos posteriores (Sylvester et al. 2004; Mota-Rojas *et al.* 2016).

Figura 1. Inervación y circulación de la región cornual en el bovino, y su relación con la percepción de dolor.



El cuerno en el ganado bovino está provisto de circulación a través de la arteria auricular que es permite la circulación en la región cornual y en el propio cuerno. Aunado a ello, esta arteria está acompañada de la innervación del nervio cornual, la cual es una ramificación del nervio trigémino que provee sensibilidad a esta región.

En un estudio comparativo entre tres técnicas de descornado realizado por Neely *et al.* (2014), en 40 novillos mestizos con cuernos, encontraron que la puntuación de vocalización fue un punto más alto durante el descorne mecánico en comparación el uso de un caucho elástico, pero de forma destacada observaron que con el uso del caucho la puntuación de postura y marcha en los animales fue 0.08 más alto en comparación con los otros tratamientos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Sylvester *et al.* (2004), quienes evaluaron el efecto del descornado y el uso de un analgésico local para el control de los cambios de comportamiento asociado al dolor en 60 terneros Frisones. Dichos autores registraron que el porcentaje del tiempo de rumia en los animales descornados sin analgésicos disminuyó entre 25 y 50% en comparación con los animales control y con los que recibieron analgésicos locales. Así mismo, comportamientos como la sacudida de la cabeza, movimientos violentos de la cola y orejas se incrementaron prácticamente al doble del tiempo entre los animales a los que no se les administraron analgésicos.

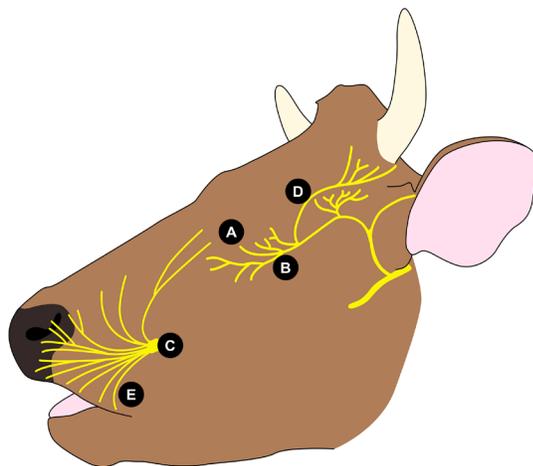
Desde una perspectiva neurobiológica el corte del cuerno, independientemente del método elegido, ocasiona la estimulación de los nociceptores, los cuales permiten la transducción de los estímulos nocivos en impulsos nerviosos que posteriormente se transmiten al cuerno dorsal de la médula espinal y son proyectados a regiones superiores del Sistema Nervioso Central como la corteza cerebral, donde se confiere intensidad y dirección al dolor (Lamont *et al.* 2000; Bell, 2018). Cabe resaltar que otras regiones, por ejemplo, el hipotálamo, también participan permitiendo la formación de respuestas fisiológicas, como la modificación de algunos parámetros fisiológicos y endocrinos, tales como el incremento del cortisol (Hernández-Avalos *et al.* 2021). Dentro de dichas respuestas fisiológicas también destaca el aumento de cortisol e incluso la neurosecreción de catecolaminas, que serán los principales responsables de la modificación de la frecuencia cardíaca y respiratoria, es decir, se ocasiona taquicardia y taquipnea (Hernández-Avalos *et al.* 2021; Mota-Rojas *et al.* 2021; Mota-Rojas *et al.* 2024a,b,d).

En un meta análisis sobre el efecto del descornado en el ganado bovino, realizado por Canozzi *et al.* (2019), se observó que la ganancia diaria de peso disminuyó, además del incremento en un 91.9% de los casos de la vocalización, así como el aumento en 0.08 ng/dL de los niveles de cortisol 30 minutos posterior al descornado. Por su parte, Schwartzkopf-Genswein *et al.* (2005) reportaron que el descornado en 17 toretes y 12 novillas lecheras Holstein propició el incremento de 1.17 ng/dL del cortisol 30 min. posterior al llevar esta práctica, al cual se sumó el aumento hasta en un 60% de patadas y vocalizaciones por el descornado en comparación con los animales con manejo simulado. En los animales que se experimentó el descornado la frecuencia cardíaca se elevó entre 20 y 40 latidos por minuto en comparación con los animales del grupo control. Con ello, además de sugerir que el descornado es un manejo doloroso, también se genera una respuesta fisiológica con la finalidad de controlar el nivel de estrés.

El control o manejo del dolor en esta práctica hasta el momento se ha enfocado al uso de fármacos que pueden ayudar a bloquear o disminuir el mismo proceso neurobiológico del dolor (Stafford y

Mellor 2005; Lamont, 2008). De acuerdo con Winder *et al.* (2016), quienes realizaron un estudio basado en encuestas sobre la práctica del descornado en el ganado lechero en Ontario, el 97% de los veterinarios usan analgésicos locales para controlar el dolor, lo que refleja una mayor conciencia sobre el dolor que desencadena el descornado. Este método consiste en la infiltración en el espacio perineural, adyacente al nervio corneal, que pertenece a la porción zigomático-temporal de la rama oftálmica del nervio trigémino, como se muestra en la Figura 2 (Stock *et al.* 2013). Es necesario mencionar que posiblemente la preferencia del uso de los analgésicos locales como la lidocaína se basa en el mecanismo de acción de los mismos, ya que ocasionan el bloqueo reversible de los canales sodio y, con ello, evitan la transducción de las señales nocivas y del proceso nociceptivo (Lamont, 2008).

Figura 2. Sitios de infiltración de los analgésicos locales para el bloqueo de la región cornual.



A. Bloqueo de párpados, B. Bloqueo del nervio aurículo palpebral, C. Bloqueo infraorbital, D. Bloqueo del nervio corneal, E. Bloqueo del nervio mandibular.

Lepková *et al.* (2007), evaluaron el efecto del uso de la lidocaína en conjunto con la sedación de los animales con xilacina vía intramuscular en 18 terneros Red Pied bajo el procedimiento de descorne. Dichos autores encontraron que la infiltración de lidocaína permitió la disminución de la frecuencia de conductas asociadas al dolor durante tiempo posterior al manejo, pero, de forma sorprendente no incrementó las concentraciones de cortisol. Distintos autores han coincidido en que el uso de los analgésicos locales no controla la respuesta endocrina posterior al descorne (Boandl *et al.* 1989; Sylvester *et al.* 1998,

2004; Grondahl-Nielsen *et al.* 1999). La posible explicación de esto puede estar relacionado con la farmacocinética de los mismos analgésicos locales y que el tiempo de latencia de los analgésicos locales ronde entre los 5 y 10 minutos (Lemke y Dawson 2000).

Otra posible explicación reside en el tiempo de duración de la analgesia posterior a la administración del fármaco. Al respecto, Fierheller *et al.* (2012) evaluaron la eficacia de tres métodos de analgesia local: bloqueo del nervio cornual, bloqueo en anillo y bloqueo del nervio cornual mediante la técnica de administración percutánea por chorro (*percutaneous jet delivery technique*). Observaron que la eficacia mediante del nervio cornual fue de 87.5% y en anillo fue del 100% en comparación con el 37% del chorro percutáneo; además, el tiempo de duración fue en promedio para el bloqueo cornual y en anillo de 147 minutos en comparación con los 132 minutos del chorro percutáneo. Esto sugiere que no solo basta con administración de un analgésico para controlar el dolor, sino que también debe considerarse y cuestionarse si el método sea el indicado para tal fin.

Una alternativa sugerida se enfoca al uso en conjunto de anestesia local con analgésicos no esteroideos (AINEs) para controlar el dolor y el proceso inflamatorio derivado del descornado o desbotone. Una experiencia de ello se documentó en el estudio realizado por Stilwell *et al.* (2009), quienes evaluaron el efecto del uso de lidocaína sola o en conjunto con flunixin de meglumina en becerros Holstein desbotonados con pasta cáustica. Las concentraciones de cortisol se redujeron con la administración de lidocaína sola (32.88 ± 26.59 nmol/L) y con el uso en conjunto de lidocaína y flunixin de meglumina (13.98 ± 11.49 nmol/L). Asimismo, en este estudio se registró que los incrementos de cortisol se mantienen hasta 180 minutos después del procedimiento cuando no se administra una terapia analgésica, aumentando la probabilidad de presentar comportamientos asociados al dolor como sacudidas de cabeza. De igual manera, la administración de lidocaína junto al meloxicam en terneros Holstein desbotonados con pasta cáustica disminuyó las concentraciones de cortisol hasta 200 pg/ml durante los primeros 30 minutos de concluido el procedimiento (Reedman *et al.* 2020).

El mecanismo de acción de los AINEs consiste en la inhibición de la formación de las ciclooxigenasas que son enzimas relacionada en la inducción de productos proinflamatorios como las prostaglandinas. Cabe subrayar que estas sustancias participan de forma activa en la modificación del potencial de acción de las fibras sensitivas (Smith *et al.* 2000). De hecho, en un estudio realizado por Duffield *et al.* (2010), evaluaron la eficacia del ketoprofeno en conjunto con lidocaína en el nervio cornual para mitigar el dolor en 40 terneras Holstein que fueron descornados con cauterización eléctrica. Observaron que la administración de ketoprofeno disminuyó en un 20% la frecuencia de movimiento de orejas y sacudidas de cabeza, además se registró un incremento de 0.5 Kg en el consumo de alimento. A pesar de que la evidencia muestra que el uso de estos fármacos disminuye el nivel de dolor, autores como Van der Saag *et al.* (2018) reportan que el efecto de estos fármacos no es del todo conclusivo sobre la reducción de la inflamación y la temperatura local posterior.

CONCLUSIONES

El descornado es una práctica rutinaria que se ha adoptado ampliamente en la producción bovina, con lo que se facilita el manejo animal, sin embargo, los registros sobre las consecuencias también han sido progresivas, principalmente en torno al dolor provocado. En esa medida se han experimentado variados mecanismos para mitigar ese efecto, sin que hasta la fecha se dispongan de evidencias sobre su plena efectividad.

Lo que se puede afirmar es que el desbotone y el descorne requiere de métodos más amigables con los animales no solamente por una actitud ética sobre su bienestar, sino también como un medio para lograr mayor productividad y estabilidad en las unidades productivas. A pesar de que existen métodos de selección para evitar que los animales nazcan sin cuernos, es necesario seguir investigando sobre los métodos menos agresivos y, en su caso, sobre los mecanismos para aliviar los malestares del ganado que se tienen documentados. En tanto, es muy importante considerar el uso de analgésicos para que el bienestar de los animales se priorice en la medida de lo posible.

Como se ha expuesto, existe normas oficiales para regular estas prácticas y sus consecuencias, pero estas se concentran en los países más desarrollados. Por lo tanto, es importante que estas normas se generalicen y se adopten en todos los países, aprovechando los hallazgos disponibles y que se vayan afinando con las evidencias científicas ulteriores. Para ello, sin duda, las iniciativas y compromiso de los médicos veterinarios y sus asociaciones resultan imprescindibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, A., Lombard, J., Shivley, C., Urie, N., Roman-Muniz, I., Fossler, C., Koprak, C., 2015, “Management practices that may impact dairy heifer welfare on US dairy operations”, *Journal of Dairy Science*, 98(2):105.
- Algra, M., de Keijzer, L., Arndt, S. S., van Eerdenburg, F. J. C. M., Goerlich, V. C., 2023, “Evaluation of the thermal response of the horns in dairy cattle”, *Animals*, 13(3):500. <https://doi.org/10.3390/ani13030500>
- American Veterinary Medical Association, 2014, “Literature Review on the Welfare Implications of the Dehorning and Disbudding of Cattle”, disponible en https://www.avma.org/sites/default/files/resources/dehorning_cattle_bgnd.pdf (revisado el 26 may, 2024)
- Aubry, P., 2005, “Routine surgical procedures in dairy cattle under field conditions: Abomasal surgery, dehorning, and tail docking”, *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 21(1):55–72. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.11.002>
- Bailey, D. E., 1984, “Sheep and Goats”, en P. B. Jennings (ed.), *The Practice of Large Animal Surgery*, Saunders WB, Philadelphia, USA, 272–276.
- Bell, A., 2018, “The neurobiology of acute pain”, *The Veterinary Journal*, 237:55–62. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.004>
- Boandl, K. E., Wohlt, J. E., Carsia, R. V., 1989, “Effects of Handling, Administration of a Local Anesthetic, and Electrical Dehorning on Plasma Cortisol in Holstein Calves”, 72:2193–2197. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79345-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79345-0)
- Bro-Jørgensen, J., 2007, “The intensity of sexual selection predicts weapon size in male bovids”, *Evolution*, 61:1316–1326.
- Broom, D. M., 2019, “Welfare of transported animals: welfare assessment and factors affecting welfare”, en T. Grandin (ed.), *Livestock handling and transport*, CABI, UK, 12–29
- Canozzi, M. E. A., Mederos, A., Turner, S., Manteca, X., McManus, C., Menegassi, S. R. O., Barcellos, J. O. J., 2019, “Dehorning and welfare indicators in beef cattle: a meta-analysis”, *Animal Production Science*, 59:801. <https://doi.org/10.1071/AN17752>
- Cardoso, C. S., von Keyserlingk, M. A. G., Hötzel, M. J., 2016, “Trading off animal welfare and production goals: Brazilian dairy farmers’ perspectives on calf dehorning”, *Livestock Science*, 187:102–108. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.02.010>
- Cozzi, G., Gottardo, F., Brscic, M., Contiero, B., Irrgang, N., Knierim, U., Pentelescu, O., Windig, J. J., Mirabito, L., Kling Eveillard, F., Dockes, A. C., Veissier, I., Velarde, A., Fuentes, C., Dalmau, A., Winckler, C., 2015, “Dehorning of cattle in the EU Member States: A quantitative survey of the current practices”, *Livestock Science*, 179:4–11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.011>

- Doherty, T. J., Kattesh, H. G., Adcock, R. J., Welborn, M. G., Saxton, A. M., Morrow, J. L., Dailey, J. W., 2007, "Effects of a concentrated lidocaine solution on the acute phase stress response to dehorning in dairy calves", *Journal of Dairy Science*, 90:4232-4239.
- Drwencke, A. M., Adcock, S. J. J., Tucker, C. B., 2023, "Wound healing and pain sensitivity following caustic paste disbudding in dairy calves", *Journal of Dairy Science*, 106(9):6375–6387. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23238>
- Duffield, T.F., Heinrich, A., Millman, S.T., De Haan, A., James, S., Lissemore, K., 2010, "Reduction in pain response by combined use of local lidocaine anesthesia and systemic ketoprofen in dairy calves dehorned by heat cauterization" *The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire canadienne*, 51:283–288.
- Espinoza, C., Lomax, S., Windsor, P., 2013, "The effect of a topical anesthetic on the sensitivity of calf dehorning wounds", *Journal of Dairy Science*, 96:2894–2902.
- Fierheller, E. E., Caulkett, N. A., Haley, D. B., Florence, D., Doepel, L., 2012, "Onset, duration and efficacy of four methods of local anesthesia of the horn bud in calves", *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 39:431–435. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2012.00717.x>
- Goonewardene, L.A., Hand, R.K., 1991, "Studies on dehorning steers in Alberta feedlots", *Canadian Journal of Animal Science*, 71:1241–1247. <https://doi.org/10.4141/cjas91-147>
- Goonewardene, L. A., Prince, M. A., Okine, E., Berg, R. T., 1999, "Behavioral responses to handling and restraint in dehorned and polled cattle", *Applied Animal Behaviour Science*, 64:159–167
- Graf, B., Senn, M., 1999, "Behavioural and physiological responses of calves to dehorning by heat cauterization with or without local anaesthesia", *Applied Animal Behavioural Science*, 62:153-171.
- Grandin, T., Velarde, A., Strappini, A., Gerritzen, M., Ghezzi, M., Martínez-Burnes, J., Hernández Ávalos, I., Domínguez Oliva, A., Casas Alvarado, A., Mota-Rojas, D., 2023. Slaughtering of Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) with and without Stunning: A Focus on the Neurobiology of Pain, Hyperalgesia, and Sensitization. *Animals*, 13, 2406. <https://doi.org/10.3390/ani13152406>
- Gregory, N., 2004, "Pain: pain associated with trauma", en J. Kirkwood, R. Hubbrecht, E. Roberts, E. (eds.), *Physiology and behaviour of animal suffering*, Blackwell Publishing, UK, 94–103.
- Gregory, N., Grandin, T., 2007, *Animal welfare and meat production*, 2nd edn. CAB International, Wallingford, U.K.
- Grøndahl Nielsen, C., Simonsen, H. B., Damkjer Lund, J., Hesselholt, M., 1999, "Behavioural, Endocrine and Cardiac Responses in Young Calves Undergoing Dehorning Without and With Use of Sedation and Analgesia", *The Veterinary Journal*, 158:14–20. <https://doi.org/10.1053/tvjl.1998.0284>
- Heinrich, A., Duffield, T., Lissemore, K., Millman, S.T., 2010, "The effect of meloxicam on behavior and pain sensitivity of dairy calves following cautery dehorning with a local anesthetic", *Journal of Dairy Science*, 93:2450 -2457.

- Hernández Avalos, I., Mota Rojas, D., Mendoza-Flores, J. E., Casas Alvarado, A., Florez Padilla, K., Miranda Cortes, A. E., Torres Bernal, F., Gómez Prado, J., Mora Medina, P., 2021, “Nociceptive pain and anxiety in equines: physiological and behavioral alterations”, *Veterinary World*, 14:2984–2995.
- Hötzel, M. J., Sneddon, J. N., 2013, “The role of extensionists in Santa Catarina, Brazil, in the adoption and rejection of providing pain relief to calves for dehorning”, *Journal of Dairy Science*, 96:1535–1548. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5780>
- International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, 2017, *Nómina anatómica veterinaria*, 6th edn. Editorial Committee Hanover, Germany.
- José Pérez, N., Mota Rojas, D., Ghezzi, M. D., Rosmini, M., Mora Medina, P., Bertoni, A., Rodríguez-Gonzalez, D., Domínguez Oliva, A., Guerrero Legarreta, I., 2022, “Effects of transport on water buffaloes (*Bubalus bubalis*): factors associated with the frequency of skin injuries and meat quality”, *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 10:2216. <https://doi.org/https://doi.org/10.31893/jabb.22016>
- Junger, H., Moore, A. C., Sorking, L. S., 2002, “Effects of full thickness burns on nociceptor sensitization in anesthetized rats”, *Burns*, 28:772–777.
- Kling Eveillard, F., Knierim, U., Irrgang, N., Gottardo, F., Ricci, R., Dockés, A. C., 2015, “Attitudes of farmers towards cattle dehorning”, *Livestock Science*, 179:12–21. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.012>
- Lamont, L. A., 2008, “Multimodal Pain Management in Veterinary Medicine: The Physiologic Basis of Pharmacologic Therapies”, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 38:1173–1186. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2008.06.005>
- Lamont, L. A., Tranquilli, W.J., Grimm, K.A., 2000, “Physiology of Pain”, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 30:703–728. [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(08\)70003-2](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(08)70003-2)
- Lemke, K. A., Dawson, S. D., 2000, “Local and Regional Anesthesia”, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 30:839–857. [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(08\)70010-X](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(08)70010-X)
- Lepková, R., Sterc, J., Vecerek, V., Dubek, J., Kruzóková, K., Bedánová, I., 2007, “Stress responses in adult cattle due to surgical dehorning using three different types of anaesthesia”, *Berliner und Munchener tierarztliche Wochenschrift*, 120:465–469.
- Lindén, J., Taponen, S., Talvitie, V., Leppävuori, E., Hänninen, L., 2023, “Histopathological findings in a pilot study of dairy calves disbudded with hot cauterization or caustic paste”, *Journal of Comparative Pathology*, 201:118–122. <https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2023.01.003>
- Loretz, C., Wechsler, B., Hauser, R., Rüschi, P., 2004, “A comparison of space requirements of horned and hornless goats at the feed barrier and in the lying area”, *Applied Animal Behaviour Science*, 87:275–283. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.01.005>

- Meischke, H. R. C., Ramsay, W. R., Shaw, F. D., 1974, "The effect of horns on bruising in cattle", *Australian Veterinary Journal*, 50:432–434. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1974.tb06864.x>
- Mintline, E. M., Stewart, M., Rogers, A. R., Cox, N.R., Verkerk, G. A., Stookey, J. M., Webster, J. R., Tucker, C. B., 2013, "Play behavior as an indicator of animal welfare: Disbudding in dairy calves", *Applied Animal Behaviour Science*, 144:22–30.
- Mobini, S., 1991, "Cosmetic dehorning of adult goats", *Small Ruminant Research*, 5:187–191. [https://doi.org/10.1016/09214488\(91\)90044-Q](https://doi.org/10.1016/09214488(91)90044-Q)
- Mota Rojas, D., Ceballos, M., Orihuela, A., Corredor, M., Pérez, E., Ramírez, R., Cesar, D., 2016, "Capítulo 11. Prácticas dolorosas en animales de granja", en D. Mota-Rojas, A. Velarde-Calvo, S. Maris, M. Cajiao, (Eds.), *Bienestar animal. Una visión global en Iberoamérica*, 3rd ed, ELSEVIER, Barcelona, España, 137–154. ISBN 978-84-9113-026-0.
- Mota Rojas, D., Broom, D., Orihuela, A., Velarde, A., Napolitano, F., Alonso-Spilsbury, M., 2020. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 8:196–205. <https://doi.org/10.31893/jabb.20026>
- Mota Rojas, D., Napolitano, F., Strappini, A., Orihuela, A., Ghezzi, M.D., Hernández-Avalos, I., Mora-Medina, P., Whittaker, A.L., 2021, Pain at the Slaughterhouse in Ruminants with a Focus on the Neurobiology of Sensitisation. *Animals*, 11:1085. <https://doi.org/10.3390/ani11041085>
- Mota Rojas, D., Velarde, A., Marcet-Rius, M., Orihuela, A., Bragaglio, A., Hernández-Ávalos, I., Casas, A., Domínguez, A., Whittaker, A.L., 2022. Analgesia during parturition in domestic animals: perspectives and controversies on its use. *Animals*, 12:2686. <https://doi.org/10.3390/ani12192686>
- Mota Rojas, D., Whittaker, A.L., Domínguez Oliva, A., Strappini, A.C., Álvarez Macías, A., Mora-Medina, P., Ghezzi, M., Lendez, P., Lezama García, K., Grandin, T., 2024a. Tactile, auditory, and visual stimulation as sensory enrichment for dairy cattle. *Animals*, 14, 1265. <https://doi.org/10.3390/ani14091265>
- Mota Rojas, D., Whittaker, A., Strappini, A., Orihuela, A., Domínguez-Oliva, A., Mora-Medina, P., Álvarez Macías, A., Hernández Avalos, I., Olmos Hernández, A., Reyes Sotelo, B., Grandin, T., 2024b. Human animal relationships in *Bos indicus* cattle breeds addressed from a Five Domains Welfare framework. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, In press. doi: 10.3389/fvets.2024.1456120
- Mota, D., Orihuela, A., Hernández Avalos, I., Domínguez Oliva, A., Casas Alvarado, A., Lendez, P.A., Ghezzi, M.D., 2024c, "Beneficios y consecuencias del recorte de piso en la productividad: aspectos anatómicos, fisiológicos y neurobiología del dolor", *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 23:100–118.
- Mota Rojas, D., Ghezzi, M. D., Hernández Avalos, I., Álvarez Macías, A., Domínguez Oliva, A., Napolitano, F., Lendez, P. A., Orihuela, A., 2024d, "Respuesta conductual y neurofisiológica al

- dolor durante la mastitis: eficiencia productiva de rumiantes lecheros, así como su relación con la terapia analgésica, antiinflamatoria y antimicrobiana”, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 23:72–98.
- Neely, C. D., Thomson, D. U., Kerr, C. A., Reinhardt, C. D., 2014, “Effects of three dehorning techniques on behavior and wound healing in feedlot cattle”, *Journal of Animal Science*, 92:2225–2229. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7424>
- Neely, C. D., 2013, “Comparison of the effects of three different dehorning techniques on behavior and wound healing in feeder cattle in a western Kansas feedlot”, Master of Science, en Department of Clinical Sciences, Kansas State University, USA.
- Orihuela, A., Mota Rojas, D., Velarde, A., Strappini Asteggiano, A., de la Vega, L.T., Borderas Tordesillas, F., Alonso Spilsbury, M., 2018. Environmental enrichment to improve behaviour in farm animals. *CABI Reviews*, 13, 1–25. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201813059>.
- Orihuela, A., Ungerfeld, R., 2019, *Prácticas zootécnicas dolorosas. Evaluación y alternativas para el Bienestar Animal*. 1a ed. COLPOS, México, 207.
- Picard, K., Festa-Bianchet, M., & Thomas, D., 1996, “The cost of horniness: Heat loss may counter sexual selection for large horns in temperate bovids”, *Écoscience*, 3(3):280–284. <https://doi.org/10.1080/11956860.1996.11682343>
- Porter, V., 2007, *Cattle – A Handbook to the Breeds of the World*, Crowood Press, Marlborough, UK.
- Reedman, C. N., Duffield, T. F., DeVries, T. J., Lissemore, K. D., Karrow, N. A., Li, Z., Winder, C. B., 2020, “Randomized control trial assessing the efficacy of pain control strategies for caustic paste disbudding in dairy calves younger than 9 days of age”, *Journal of Dairy Science*, 103(8):7339–7350. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18118>
- Reedman, C. N., Duffield, T. F., DeVries, T. J., Lissemore, K. D., Winder, C. B., 2021, “Risk factors for morbidity in 1- to 9-day-old dairy calves following caustic paste disbudding”, *JDS Communications*, 2(6):376–380. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0121>
- Reiche, A. M., Dohme-Meier, F., Claudia Terlouw, E. M., 2020, “Effects of horn status on behaviour in fattening cattle in the field and during reactivity tests”, *Applied Animal Behaviour Science*, 231:105081. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105081>
- Schwartzkopf Genswein, K. S., Booth McLean, M. E., McAllister, T. A., Mears, G. J., 2005, “Physiological and behavioural changes in Holstein calves during and after dehorning or castration”, *Canadian Journal of Animal Science*, 85:131–138. <https://doi.org/10.4141/A04-051>
- Shaw, F., Baxter, R., Ramsay, W., 1976, “The contribution of horned cattle to carcass bruising”, *Veterinary Record*, 98:255–257. <https://doi.org/10.1136/vr.98.13.255>
- Smith, W. L., DeWitt, D. L., Garavito, R. M., 2000, “Cyclooxygenases: Structural, Cellular, and Molecular Biology”, *Annual Review of Biochemistry*, 69:145–182. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.69.1.145>

- Stafford, K. J., Mellor, D. J., 2011, "Addressing the pain associated with disbudding and dehorning in cattle", *Applied Animal Behaviour Science*, 135:226–231. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.10.018>
- Stafford, K., Mellor, D., 2005, "Dehorning and disbudding distress and its alleviation in calves", *Veterinary Journal*, 169:337–349. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.02.005>
- Stafford, K. J., Mellor, D. J., 2005, "The welfare significance of the castration of cattle: a review", *New Zealand Veterinary Journal*, 53:271-278.
- Staněk, S., Šárová, R., Nejedlá, E., Slosárkova, S., Dolezal, O., 2018, "Survey of disbudding practice on Czech dairy farms", *Journal of Dairy Science*, 101:830–839. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13143>
- Stilwell, G., de Carvalho, R. C., Lima, M. S., Broom, D. M., 2009, "Effect of caustic paste disbudding, using local anaesthesia with and without analgesia, on behaviour and cortisol of calves", *Applied Animal Behaviour Science*, 116(1):35–44. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.06.008>
- Stilwell, G., Lima, M. S., Broom, D. M., 2007, "Comparing the effect of three different disbudding methods on behaviour and plasma cortisol of calves", *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 102:281–288.
- Stilwell, G., Lima, M. S., Broom, D. M., 2008, "Comparing plasma cortisol and behaviour of calves dehorned with caustic paste after non-steroidal-anti-inflammatory analgesia", *Livestock Science*, 119(1–3):63–69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.02.013>
- Stock, M. L., Baldridge, S. L., Griffin, D., Coetzee, J.F., 2013, "Bovine dehorning: Assessing pain and providing analgesic management", *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 29:103–133. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2012.11.001>
- Strappini, A. C., Metz, J. H. M., Gallo, C. B., Kemp, B., 2009, "Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter", *Animal*, 3:728–736. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004091>
- Sylvester, S., Mellor, D., Stafford, K., Bruce, R.A., Ward, R.N., 1998, "Acute cortisol responses of calves to scoop dehorning using local anaesthesia and/or cautery of the wound", *Australian Veterinary Journal*, 76:118–122. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1998.tb14542.x>
- Sylvester, S.P., Stafford, K.J., Mellor, D.J., Bruce, R.A., Ward, R.R., 2004, "Behavioural responses of calves to amputation dehorning with and without local anaesthesia", *Australian Veterinary Journal*, 82:697-700. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2004.tb12162.x>
- Tulloh, N. M., 1961, "Behaviour of cattle in yards. II. A study of temperament", *Animal Behaviour*, 9:25–30. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(61\)90046-X](https://doi.org/10.1016/0003-3472(61)90046-X)
- Van der Saag, D., Lomax, S., Windsor, P. A., Taylor, C., White, P. J., 2018, "Evaluating treatments with topical anaesthetic and buccal meloxicam for pain and inflammation caused by amputation dehorning of calves", *PLoS One* 13:e0198808. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198808>

- Vickers, K. J., Niel, L., Kiehlbauch, L. M., Weary, D. M., 2005, “Calf response to caustic paste and hot-iron dehorning using sedation with and without local anesthetic”, *Journal of Dairy Science*, 88:1454-1459.
- Waiblinger, S., Baars, T., Menke, C., 2001, “Understanding the cow-the central role of human- animal relationship in keeping horned dairy cows in loose housing”, en M. Hovi, M. Bouihol (eds.), *Human animal relationship: stockmanship and housing in organic livestock systems*. Proc. 3rd Workshop of the International Network on Animal Health and Welfare in Organic Agriculture (NAHWOA), Clermont-Ferrand, France, 64–78.
- Weyl Feinstein, S., Shabtay, A., Malka, H., Adin, G., Peleg, G., Faktor, G., Honig, H., 2021, “Assessing the Effect of Pain Relieving Methods During Caustic Disbudding Procedure on Dairy Calf Welfare”, *Israel Journal of Veterinary Medicine*, 76(3):96–107.
- White, E. C., 2004, “Caprine dehorning”, en S.L. Fubini, N.G. Ducharme, (Eds.), *Farm Animal Surgery*, 1st Ed., Saunders, USA, 511–515.
- Winder, C. B., LeBlanc, S. J., Haley, D. B., Lissemore, K. D., Godkin, M. A., Duffield, T. F., 2017, “Clinical trial of local anesthetic protocols for acute pain associated with caustic paste disbudding in dairy calves”, *Journal of Dairy Science*, 100(8):6429–6441. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12724>
- Winder, C. B., LeBlanc, S. J., Haley, D. B., Lissemore, K. D., Godkin, M. A., Duffield, T. F., 2016, “Practices for the disbudding and dehorning of dairy calves by veterinarians and dairy producers in Ontario, Canada”, *Journal of Dairy Science*, 99:10161–10173. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11270>
- Wythes, J., Horder, J., Lapworth, J., Cheffins, R., 1979, “Effect of tipped horns on cattle bruising”, *Veterinary Record*, 104:390–392. <https://doi.org/10.1136/vr.104.17.390>
- Youngers, M. E., Thomson, D. U., Schwandt, E. F., Simroth, J. C., Bartle, S. J., Siemens, M. G., Reinhardt, C. D., 2017, “Case Study : Prevalence of horns and bruising in feedlot cattle at slaughter”, *The Professional Animal Scientist*, 33:135–139. <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01551>.

Evaluación de diversos factores relacionados con la cadena de frío para el mantenimiento de vacunas en clínicas veterinarias de la Ciudad de México

Yolanda Margarita Sánchez Castilleja¹, Adrián Emmanuel Iglesias Reyes¹,
Román Espinosa Cervantes¹ y María Isabel López López²

Resumen. El presente estudio se realizó en 132 clínicas veterinarias de la Ciudad de México (CdMx), con el objetivo de evaluar factores relacionados con la cadena de frío. Los resultados mostraron mayor presencia de frigobares en un 50.76%. El 4.54% cuentan con un formato de registro de temperaturas y en un 45.46% termómetros, ubicados en el estante central del refrigerador en un 72.09%. Las temperaturas estuvieron dentro del rango de 2 a 8° C en un 73.48%. Las vacunas, se observaron en los estantes centrales de los equipos en un 86.36% guardando 2.5 cm de distancia entre ellas en un 63.63%. En general, la ubicación, el espacio entre los viales y el sistema de rotación de las vacunas en el interior es bien manejado por los médicos veterinarios. Es preciso contar con equipos que mantengan una temperatura constante, con termómetros preferentemente de máximas y mínimas, en un lugar que permita el registro diario. El contar con refrigerantes y botellas de agua dentro del equipo, así como hieleras, pueden contribuir a mantener la temperatura adecuada en caso de avería.

Palabras clave: Cadena de frío, Clínicas veterinarias, Ciudad de México.

Abstract. The present study was carried out in 132 veterinary clinics in Mexico City, with the objective of evaluating factors related to the cold chain. The results showed a greater presence of minibars (50.76%). 4.54% have a temperature recording format and 45.46% have thermometers, located on the central shelf of the refrigerator in 72.09%. The temperatures were within the range of 2 to 8° C in 73.48%. The vaccines were observed on the central shelves of the equipment in 86.36%, keeping 2.5 cm of distance between them in 63.63%. In general, the location, the space between the vials and the system of rotating the vaccines inside

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. e-mail: ymsanchez@correo.xoc.uam.mx

² Instituto Mexicano de Porcicultura, A.C.

are well managed by veterinary doctors. It is necessary to have equipment that maintains a constant temperature, with preferably maximum and minimum thermometers in a place that allows daily recording. Having refrigerants and water bottles inside the equipment, as well as coolers, can help maintain the appropriate temperature in the event of a breakdown.

Keywords: *Cold chain, Veterinary clinics, Mexico City.*

INTRODUCCIÓN

Después de la provisión de agua potable y la depuración de aguas residuales, las vacunas han sido una de las más seguras y efectivas intervenciones en salud pública y animal para disminuir la morbimortalidad de las enfermedades infecciosas, mejorar la salud de los individuos y aumentar la esperanza de vida, ya que han logrado una disminución importante en la incidencia de muchas enfermedades transmisibles (García, 2015; Tuells, 2016; Giglio *et al.*, 2018). Tan solo la UNICEF (2023) reporta entre 2 y 3 millones de vidas salvadas cada año, proporcionando beneficios sobre el control y la prevención de enfermedades. En salud animal, exitosas campañas contra la peste bovina lograron su erradicación a nivel mundial, mediante la vacunación, en el año 2011 (WOAH, 2023).

Se puede definir como vacuna a una suspensión de microorganismos vivos o sus subunidades, atenuados o inactivados, que son administrados para inducir una respuesta inmunitaria en el organismo y así prevenir enfermedades infectocontagiosas (Galindo *et al.*, 2011). Como toda sustancia biológica, las vacunas son altamente sensibles y su estabilidad puede verse afectada por múltiples factores como la humedad, la luz del sol, las luces fluorescentes y especialmente por el frío o calor, pudiendo ocasionar la pérdida de su capacidad inmunizante, cambio de aspecto o inactivación. Esta, es una pérdida irreversible y acumulativa, pues se va incrementando con el tiempo de exposición a dichos factores. Es por ello que, para asegurar la óptima potencia de las vacunas se debe tener especial cuidado y atención en su manejo, desde su elaboración hasta su administración (González y Reyes, 2009; Pérez, 2020). Una de las recomendaciones más importantes, es atender las instrucciones de los productores de biológicos (Williams y Paxiao, 2018), que consisten principalmente en evitar la exposición a temperaturas de congelación o a la luz solar y mantener la temperatura de almacenamiento de las vacunas y diluentes (PRONAVIBE, 2021).

Generalmente, el único método que permite garantizar la inmunogenicidad y eficacia protectora en la mayoría de las vacunas, al ser éstos productos biológicos termolábiles, es su conservación a temperaturas frías entre los 2 a 6°C (Secretaría de Salud, 2017). No obstante, otros autores mencionan que la temperatura máxima aceptable sin pérdida del biológico puede llegar hasta los 8°C (Ortega *et al.*, 2002; Portero *et al.*, 2004; González y Reyes, 2009; Vizzotti *et al.*, 2013; García, 2015, Pérez, 2020). Algo a

tomar en cuenta, es el tipo de vacuna a conservar, pues se ha demostrado que vacunas inactivadas que contienen adyuvantes son más sensibles a temperaturas de congelación pero son más estables que las vacunas vivas cuando se les expone a temperaturas elevadas (Kartoglu y Milstein, 2014).

El conjunto de actividades y procesos organizados de conservación, distribución y manejo de las vacunas, en condiciones óptimas de luz y temperatura, que garantizan la correcta conservación de los biológicos, desde su fabricación hasta que son aplicadas se le conoce como “cadena de frío” (Portero *et al.*, 2004; González y Reyes, 2009; AEP, 2021).

La cadena de frío se puede dividir en dos: la *cadena móvil*, conformada por contenedores o neveras portátiles y la *cadena fija*, que es el equipo donde se almacenan y conservan las vacunas hasta su administración (Portero *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 2020). Los equipos que son utilizados van desde cámaras conservadoras, cámaras de refrigeración, hasta refrigeradores domésticos o frigobares. Estos últimos resultan económicos pero tienden a perder temperatura rápidamente, especialmente cuando la apertura de las puertas es frecuente (Organización Panamericana de la Salud, 2006; González y Reyes, 2009; Vizzotti *et al.*, 2013; García, 2015; COFEPRIS, 2017; Merino y Bravo, 2018; Pérez, 2020).

Diversos autores recomiendan la supervisión de un profesional como responsable del mantenimiento de la cadena de frío de las vacunas, lo que incluye el control diario de la temperatura con la frecuencia necesaria para identificar posible rotura de la cadena de frío y la inmediata solución de problemas, evitando además el uso de las vacunas hasta que se determine su idoneidad (Ortega *et al.*, 2002; Pérez, 2020). Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar los equipos de refrigeración para el mantenimiento de las vacunas, como último eslabón de la cadena de frío fija en clínicas veterinarias de la Ciudad de México.

METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó en 132 clínicas veterinarias de pequeñas especies de la CDMX, a cuyos dueños se les solicitó autorización para observar el equipo utilizado para el mantenimiento de la cadena de frío de las vacunas.

Se observaron las siguientes variables, tipo y ubicación de los equipos de refrigeración y de termómetro, temperatura, lugar de colocación del termómetro, presencia de hielo, refrigerantes, botellas, alimentos y bebidas, así como la utilización de formatos para el monitoreo de la temperatura.

Los datos fueron recopilados en una matriz de Excel, y posteriormente, con ayuda del programa de estadística SPSS, se realizó un procedimiento GLM multivariable para el anova de variables dependientes múltiples por covariables y un análisis descriptivo para conocer la relación entre las variables analizadas y la temperatura de las vacunas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

De los 132 equipos evaluados, se observaron tres tipos de refrigeradores: frigobar con una prevalencia de 50.76% (67a), seguido del refrigerador doméstico con una presencia de 46.21% (61a), y el industrial con una presencia inferior a las anteriores de 3.03% (4b), $P=0.0001$, lo cual indica que por el diseño de los refrigeradores industriales, la presencia y lugar de termómetro, así como, una correcta temperatura no es un factor de alarma (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje de los tipos de equipos de refrigeración y presencia de termómetros en clínicas veterinarias de la Ciudad de México

Tipo de equipo de refrigeración	n: 132	%	Termómetro	
			Si	No
Doméstico	61 ^a	46.21	21.31	78.69
Frigobar	67 ^a	50.75	64.18	35.82
Industrial	4 ^b	3.03	100	0
P	<.0001			

^{a-b} corresponde a una $P<0.001$

Los refrigeradores de las clínicas veterinarias evaluadas se encontraban ubicados en área lejana a fuentes de calor natural y/o artificial generadores de calor. La temperatura adecuada es un factor que cobra mayor relevancia en refrigeradores no propios o adaptados para esta actividad. Ashok *et al.* (2017) menciona que los refrigeradores domésticos y “aquellos que son más económicos”, no tienen la capacidad para mantener los rangos de temperatura óptimos (2 a 8°C), por lo que es aconsejable la adquisición de un refrigerador diseñado para el correcto mantenimiento y conservación de las vacunas. En caso contrario, es aconsejable adaptar los refrigeradores domésticos utilizando botellas de agua de aproximadamente 10 litros en los estantes de la puerta y en el estante inferior (Alders, 2015).

El porcentaje de equipos de refrigeración sin termómetro (54.54%) es superado por otros estudios que identificaron la falta de este instrumento hasta en un 88% (Rao *et al.*, 2012, Vangroenweghe, 2017; Maglasang *et al.*, 2018). En el caso de los sitios que cuentan con frigobares (50.76%) el 64.18% posee termómetros, siendo análogos en un 93.02% y digitales en un 6.98%. Para el caso de los refrigeradores domésticos (46.21%), solo el 21.31%, cuenta con termómetro principalmente análogos (Tabla 2). Los termómetros análogos de máxima y mínima, permiten un control preciso de la temperatura, al utilizar una sustancia que se dilata o contrae al momento que aumenta o disminuye la temperatura. No

obstante, se debe evitar el uso de termómetros análogos que contengan mercurio, pues se le considera tóxico (Secretaría de Salud, 2011). No se obtuvo correlación entre el tipo de termómetros utilizados, con el lugar en el que son colocados dentro del refrigerador.

Tabla 2. Tipo de termómetros presentes en los equipos de refrigeración evaluados

Tipo de equipo de refrigeración	n	Tipo de termómetro		
		análogo	digital	automático
Doméstico	13	100		
Frigobar	43	93.02	6.98	
Industrial	4			100

En cuanto a la ubicación de los termómetros, se observó que estos están integrados a los refrigeradores industriales. En el caso de los frigobares, los termómetros son colocados en el estante intermedio o central (72.09%) como lo indica la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS, 2017), en un 25.58% en la puerta y con menor incidencia en la parte de abajo. Para el caso de los refrigeradores domésticos, se observó una menor preocupación por contar con un termómetro. De estos, lo distribuían en un 53.85% en la parte central, abajo en un 38.46% y en la puerta en un 7.69% (Tabla 3). Se documenta que existen estantes en las puertas o en áreas cercanas a los conductos de aire que no son adecuadas para la colocación y mantenimiento de las vacunas, por lo que situar un termómetro en estas áreas resulta en vano. En este sentido, el localizar las áreas dentro del refrigerador donde la temperatura es más estable es prioritario y fundamental (Alders, 2015).

Tabla 3. Ubicación de los termómetros en los equipos de refrigeración evaluados

Tipo de equipo de refrigeración	Ubicación			
	puerta	central	abajo	automático
Doméstico	7.69	53.85	38.46	
Frigobar	25.58	72.09	2.36	
Industrial				100

Es indiscutible la importancia que tiene el contar con un termómetro y adicionalmente de un formato donde se registren las temperaturas máximas y mínimas al menos dos veces al día, al comienzo y al final de la jornada (García, 2015; COFEPRIS, 2017; AEP, 2020; Yohannes *et al.*, 2020), ya que permite tomar acciones al momento de identificar temperaturas fuera del rango, evitando comprometer la viabilidad y eficacia de las vacunas (AEP, 2020).

En las clínicas visitadas, el 4.54% de los equipos de refrigeración cuentan con un formato de registro de temperaturas, porcentaje muy por debajo del reportado por Bogale *et al.* (2019), quienes mencionan que en un 58.3% de las instituciones de salud se registraron las temperaturas de la cámara de frío, dos veces al día de forma continua. En un trabajo de recopilación bibliográfica (Carrión *et al.*, 2020) se observó que solo tres de 45 estudios publicados (6.66%) notificaron el registro de temperaturas en países de bajos ingresos. De la misma manera, en centros de salud de Filipinas (Maglasang *et al.*, 2018) y Pakistan (Buledi *et al.*, 2017), se demostró que un 18.2% (4/22) y 43% (18/42), respectivamente, no realizaron registros de temperaturas. En este estudio se registró un mejor monitoreo de la temperatura en los refrigeradores industriales ya que en el 100% la temperatura es la correcta en un rango de 2-8° C (Tabla 4), sin embargo, se confían de ello, y solo el 50% de estos posee formatos de monitoreo de temperatura e inventario de vacunas. Por otra parte, en ningún refrigerador o frigobar, se observaron formatos para el registro del monitoreo de la temperatura. No obstante, las mediciones de la temperatura al momento de la visita, mostraron en un 73.48% la temperatura recomendada.

Tabla 4. Temperaturas registradas en los equipos de refrigeración evaluados

Equipo	Temperatura	2-8° C	8-10° C	Total
Refrigerador industrial		4 (100%)	0	4 (100%)
Refrigerador comercial		52 (85.25%)	9 (14.75%)	61 (100%)
Frigobar		45 (67.16%)	22 (32.83%)	67 (100%)
Total		97	35	132

Uno de los principales factores identificados en la pérdida de la cadena de frío, es el desconocimiento acerca del rango de temperatura recomendado para el mantenimiento y conservación de las vacunas, que oscila entre 2 y 8°C y por consiguiente, se prescinde del monitoreo y registro diario de la temperatura del equipo de refrigeración (Zipursky *et al.*, 2014). Otros factores que se reportan en diversos trabajos, son la desconexión a las fuentes de alimentación eléctrica o falta de suministro de energía eléctrica, lo que aumenta la temperatura interna de los equipos (Kumru *et al.*, 2014; Yakum *et al.*, 2015), esta situación se le asocia primordialmente con países en desarrollo de clima tropical, carentes de financiamiento para la adquisición de equipo y mano de obra (Kumru *et al.*, 2014; Carrión *et al.*, 2020).

En este sentido, la estabilidad y potencia de una vacuna depende de la temperatura a la cual se le almacene. Vacunas atenuadas expuestas a altas temperaturas por encima de los 8°C son más sensibles a la pérdida de potencia pues se altera la estructura proteica y/o la estabilidad química de los componentes de la vacuna; en tanto, las vacunas inactivadas y de subunidades, que contienen adyuvantes, suelen ser estables a la exposición moderada de temperaturas elevadas, sin embargo, a temperaturas de congelación, por debajo de los 0°C, los adyuvantes se aglomeran provocando la disociación del antígeno disminuyendo la capacidad inmunógena del biológico (Murhekar *et al.*, 2013; Sánchez *et al.*, 2020).

En un estudio realizado por Carrión *et al.* (2020) observaron que el 22% de los productores porcícolas no reconocen las consecuencias por congelamiento de vacunas. Se han identificado entre 14 y 35% de los refrigeradores o envíos de transporte donde las vacunas fueron expuestas a temperaturas de congelación (Mathias y Robertson, 2007), otros estudios demuestran que las vacunas expuestas a temperaturas por debajo de los rangos recomendados fueron del 33.3% en los países más ricos y del 37.1% en los países del ingreso más bajos (Hanson *et al.*, 2017). En Estados Unidos un gran número de viales que debían mantenerse a temperaturas entre 2 y 8°C, se expusieron a temperaturas de congelación, debido a un inadecuado manejo de la cadena de frío en los centros de salud. En India, por su parte, se reportó que dos tercios de las vacunas que se producen, se exponen a temperaturas de congelación, tanto en el transporte como en el almacenamiento (Murhekar *et al.*, 2013). Las condiciones inadecuadas de temperatura, no solo compromete la calidad del biológico, sino que se traduce en grandes pérdidas económicas, como la ocurrida en China en el año 2016, donde 25 tipos de vacunas se expusieron a temperaturas no recomendadas y se distribuyeron de manera ilegal en instalaciones médicas, generando pérdidas económicas por 88 millones de dólares (Cao *et al.*, 2018; Qiu *et al.*, 2016).

Cabe destacar que también es importante mantener el refrigerador en buenas condiciones, la presencia de hielo con un espesor mayor a 0.5 cm. (García, 2015; Vangroenweghe, 2017; Carrión *et al.*, 2020) identificado en el 40.90% (54/132) de las áreas de congelación de los equipos evaluados, puede provocar deterioro del sistema (Sánchez *et al.*, 2020) e incluso influir en el congelamiento de las vacunas, generando un impacto negativo en la eficacia de la vacuna (Vangroenweghe, 2017; Carrión *et al.*, 2020). Así mismo, es recomendable que los médicos veterinarios o el personal responsable se cerciore

que la puerta del refrigerador sea funcional (Bogale *et al.*, 2019) y desechar refrigeradores viejos (>12 años), ya que en estos se observan temperaturas inapropiadas en un 52.5% (Vangroenweghe, 2017), lo que ocasiona ruptura de la cadena de frío (Thielmann *et al.*, 2020).

Solo el 40.9% de los equipos de refrigeración contaban con refrigerantes en los congeladores, contrastando con los estudios de Maglasang *et al.* (2018) en Filipinas y Rao *et al.* (2012) en la India, quienes contaban respectivamente con refrigerantes en el 100% y 97.2% de los refrigeradores. La presencia de refrigerantes en el congelador ayuda a la estabilidad de la temperatura interna, recomendándose colocarlos verticalmente para que cada uno de ellos establezca contacto con las paredes del evaporador y permita su congelación en un promedio de 10 horas (García, 2015; COFEPRIS, 2017). Estos, además pueden ser excelentes auxiliares en caso de falla del refrigerador o para transportar vacunas (Sánchez *et al.*, 2020).

Otros objetos no observados en los equipos de las clínicas veterinarias y que son utilizados para estabilizar y recuperar la temperatura interna del refrigerador más rápidamente después de abrir la puerta, son las botellas cerradas llenas de agua. Estas deben colocarse en la parte inferior del refrigerador, y en los estantes de las puertas, con una distancia de 2.5 a 5 cm entre ellas, para que el aire frío circule libremente (García, 2015; COFEPRIS, 2017; Vangroenweghe, 2017). Estudios han demostrado que el uso de botellas de agua dentro de los equipos y, después de una avería, la temperatura se mantiene por debajo de los +10°C por un lapso de 4.5 horas, en comparación a aquellos que no los contenían (Muegge, 2012).

La disposición de las vacunas en el interior del equipo de refrigeración es de gran importancia, pues se debe permitir la circulación de aire. Estas deben colocarse en los estantes centrales guardando una distancia entre ellas de 2.5 cm (AEP, 2005), aspectos cumplidos respectivamente por el 86.36% (114/132) y 63.63% (84/132) de las clínicas. No obstante, en el presente estudio, se observaron vacunas en los estantes de las puertas en un 18.18% (24/132), contrario a lo mencionado por Vangroenweghe (2017) y Lugelo (2021), quien los identifica como zonas de gran variación de temperatura e indican que no se deben de colocar en ningún momento en la puerta.

Las clínicas veterinarias en un 68.18% (90/132) tienen un sistema de rotación que consiste en colocar las vacunas con fechas de caducidad próxima en la parte delantera del estante, de manera que sean más accesibles y los que se administren primero, lo que coincide con lo recomendado por diversos autores (AEP, 2005; Yohannes *et al.*, 2020), es por ello, que posiblemente no se encontró una relación entre el sistema de rotación de las vacunas y la temperatura que mantenían los refrigeradores.

Se encontraron alimentos y bebidas en un 50% de los equipos de refrigeración destinados al almacenamiento de vacunas, este porcentaje es superado por el 77.28% obtenido en centros de salud en Cebu, Filipinas (Maglasang *et al.*, 2018). Estos deben destinarse exclusivamente a vacunas, en primera instancia para conservar la temperatura adecuada (Vangroenweghe, 2017; Sánchez *et al.*, 2020), pues al haber alimentos supone la apertura constante del equipo, además de conservar la seguridad y salud tanto de los animales como de los humanos (Yohannes *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican preferencia por el uso de frigobares como equipo de refrigeración para la conservación de las vacunas, la omisión de un formato y el registro diario de temperaturas; así como la falta de objetos que contribuyen a mantener la temperatura en caso de avería del equipo o por apertura constante de la puerta, especialmente cuando se tienen alimentos. Si bien las temperaturas en este estudio estuvieron mayormente en el rango especificado al momento de la visita, se recomienda contar con equipos que mantengan una temperatura constante y un termómetro de máximas y mínimas en un lugar que permita el monitoreo y registro de la temperatura diariamente sin comprometer la viabilidad del biológico. La falta de control en estos aspectos puede significar graves consecuencias en el biológico, no solo por comprometer su potencia de manera acumulativa e irreversible, sino en la pérdida de su eficacia y eficiencia que se traducen en problemas de salud animal, al no proveerse inmunidad individual y de hato. A lo anterior, se suman, las pérdidas económicas que pueden ser considerables, llegando a varios miles de pesos por pérdida del biológico. Por ello, además de lo descrito anteriormente, es esencial que se cuente con personal con una formación adecuada que garantice el buen manejo de las vacunas. En general, la ubicación, espacio entre los viales y el sistema de rotación de las vacunas en el interior de los equipos es bien manejado por los médicos veterinarios que están a cargo de las clínicas veterinarias, no obstante, todo es susceptible de mejoría y por lo tanto es recomendable la capacitación para quienes manejan la cadena de frío, lo que incluye, equipos, materiales y procedimientos, de manera que la tasa de pérdida asociada al manejo o uso de vacunas se acerque lo más posible a cero.

BIBLIOGRAFÍA

- AEP, 2020. Transporte y conservación de las vacunas. Manual de vacunas en línea de la AEP. Disponible en <https://vacunasaep.org/documentos/manual/cap-6>
- AEP, 2021. Transporte y Conservación de las vacunas. Manual de vacunas en línea de la AEP. Disponible en <https://vacunasaep.org/printpdf/documentos/manual/cap-6>
- Ashok, A., Brison, M., LeTallec, Y., 2017, “Improving cold chain systems: Challenges and solutions”, *Vaccine*, 35(17):2217-2223.
- Bogale, H. A., Amhare A. F. y Bogale A. A., 2019, “Assessment of factors affecting vaccine cold chain management practice in public Health institutions in east Gojam zone of Amhara región” *BMC Public Health*, 19(1433): 1-6.
- Buledi, R., Butt, Z. A., Ahmed, J., Alizai, A. A., 2017, “Status of cold chain in routine immunisation centres of the expanded programme on immunisation in Quetta, Pakistan”, *J Pak Med Assoc*; 67(5):739-744.
- Cao, L., Zheng, J., Cao, L., Cui, J., Xiao, Q., 2018, “Evaluation of the impact of shandong illegal vaccine sales incident on immunizations in China”, *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 14(7), 1672-1678.
- Carrión, F. V., Villalobos, P. Y. V., Gómez, A. C. M., Kartoglu, U., 2020, “A vaccine cold chain temperature monitoring study in the United Mexican States”. *Vaccine* 38:5202-5211.
- COFEPRIS, 2017. “Guía de calidad del sistema de vigilancia de vacunas”. *Secretaría de Salud*, 1-90.
- Galindo, S. B. M., Arroyo, R. L., Concepción, D. D., 2011, “Seguridad de las vacunas y su repercusión en la población”, *Revista Cubana de Salud Pública*, 37(1):149-158.
- García, F. A., 2015, “Características generales de las vacunas”, *Pedriatría Integral*, 19(10): 666-674.
- Giglio, N., Bakir, J., Gentile, A., 2018, “Eficacia, efectividad e impacto en vacunas: ¿es lo mismo?”, *Rev Hosp Niños (B. Aires)*, 60(268):34-41.
- González, R. O., Reyes, P. C., 2009. “Conservación de las vacunas”. *Revista de Ciencias Médicas*, La Habana 15(3). Disponible en <http://www.revcmhhabana.sld.cu/index.php/rcmh/article/view/445>.
- Hanson, C. M., George, A. M., Sawadogo, A., Schreiber, B., 2017, “In freezing in the vaccine cold chain an ongoing issue? A literature review”, *Vaccine*, 35:2127-2133.
- Kartoglu, U., Milstien, J., 2014, “Herramientas y enfoques para garantizar la calidad de las vacunas a lo largo de la cadena de frío”, *Experto Rev Vacunas*, 13(7):843-54.
- Kumru, O. S., Joshi, S. B., Smith, D. E., Middaugh, C. R., Prusik, T., Volkin, D. B., 2014, “Vaccine instability in the cold chain: Mechanisms, analysis and formulation strategies” *Biologicals*, (5):237-259. doi: 10.1016/j.biologicals.2014.05.007.

- Maglasang, P., Butalid, M. L., Pastoril, M. F., Patrama, A. N., Tan, E. Y., 2018, "A cross sectional survey on cold chain management of vaccines in Cebu, Philippines", *Pharm Pract (Granada)*, 16(2):1167. doi: 10.18549/PharmPract.2018.02.1167. Epub 2018 Jun 22.
- Muegge, S., 2012, "Protecting refrigerated vaccines with water bottles: an evidence-based strategy", *American Journal of Nursing* 112: 61–69.
- Lugelo, A., Hampson, K., Czupryna, A., Bigambo, M., McElhinney, L. M., Marston, D. A., Kazwala, R., Lankester, F., 2021, "Investigating the efficacy of a canine rabies vaccine following storage outside of the cold-chain in a passive cooling device", *Front Vet Sci* 8:728271. doi: 10.3389/fvets.2021.7282
- Mathias, D. M., Robertson, J., 2007, "Temperaturas de congelación en la cadena de frío de la vacuna: una revisión sistemática de la literatura", *Vacuna*, 25(20):3980-6.
- Merino, M. M., Bravo, A. J., 2018, "Generalidades sobre vacunas: cosas prácticas", AEPap (ed). *Curso de Actualización Pediatría 2018*. Madrid: Lúa. 67-76.
- Murhekar, M. V., Dutta, S., Kapoor, A. N., Bitragunta, S., Dodum, R., Ghosh, P., 2013, "Frequent exposure to suboptimal temperatures in vaccine cold chain system in India: Results of temperature monitoring in 10 states", *Bulletin of the World Health Organization*, 91:906-913.
- Organización Panamericana de la Salud, 2006, Curso de gerencia para el manejo efectivo del Programa Ampliado de Inmunización (PAI). 1-64.
- Ortega, M. P., Astasio, A. P., Albaladejo, V. R., Gómez, R. M. L., De Juanes, P. J. R., Domínguez, R.V., 2002, "Cadena del frío para la conservación de las vacunas en los centros de atención primaria de un área de Madrid: mantenimiento y nivel de conocimientos", *Rev Esp Salud Pública*, 73:333-346.
- Pérez, C.J.D., 2020, *Evaluación de la cadena de frío para la conservación de vacunas en centros de expendio de fármacos veterinarios mediante temoregistradores*, Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador.
- Portero, A. A., Pastor, V. E., Navarro, V. L., Llunch, R. J. A., 2004, Logística de la cadena de frío. Monografía Sanitaria Serie E, N° 50. Editor: Generalitat Valenciana. 1-42.
- Qiu, J., Hu, H., Bayraksan, G., Homem-de Melio, T., 2016, "Vaccine scandal and crisis in public confidence in China". *The Lancet*, 387(10036), 2382. Vaccine scandal and crisis in public confidence in China - ScienceDirect
- Rao, S., Naftar, S., Baliga, S., Unnikrishnana, B., 2012, "Evaluation, awareness, practice and management of cold chain at the primary health care centers in Coastal South India", *Journal of Nepal Pediatric Society*, 32(1):19-22.

- Sánchez, C. Y. M., González G. G. U. A., García, C. A., De Loera, O. Y. G., Guerrero, L. M., Lombardero, G. J. G., Gual. S.F, 2020, *Temas selectos en vacunación animal*, Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Secretaría de Salud, 2011, Guía tecnológica No. 42: Equipamiento para la cadena de frío.
- Thielmann, A., Puth, M.T., Waltermann, B., 2020, “Improving Knowledge in vaccine storage management in general practices: Learning effectiveness of an online-based program” *Vaccine*, 38:7551-7557.
- Tuells, J., 2016, “Controversias sobre vacunas en España, una oportunidad para la vacunología social” *Gac Sanit*, 30(1):1-3.
- UNICEF, 2023, *Las vacunas salvan vidas*. Disponible en <https://www.unicef.es/noticia/las-vacunas-salvan-vidas>
- Vangroenweghe, F., 2017, “Good vaccination practice: it all starts with a good vaccine storage temperature”, *Porcine Health Management* 3(24): 1-7.
- Vizzotti, C., Analía, A., Frydman, E., Gomez, V., 2013. “Vacunación segura: Cadena de frío Manual de almacenamiento de las vacunas para el Nivel Operativo. Programa nacional de control de enfermedades inmunoprevenibles”. Disponible en https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2020-01/0000000441cnt-2013-07_manual-cadena-frio-cdf15x15_imprensa.pdf
- Williams, P. D. y Paixão, G., 2018, On-farm storage of livestock vaccines may be a risk to vaccine efficacy: a study of the performance of on-farm refrigerators to maintain the correct storage temperature. *BMC Vet Res* 14(13). <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1450-z>
- WOAH, 2023, *Peste bovina*. Disponible en <https://www.woah.org/es/enfermedad/peste-bovina/#:~:text=La%20peste%20bovina%20fue%20declarada,del%20%C3%BAltimo%20caso%20en%20Kenia>.
- Yakum, M. N., Ateudjieu, J., Pélagie, F. R., Walter, E. A., Watcho, P., 2015, “Factors associated with the exposure of vaccines to adverse temperature conditions: the case of North West region, Cameroon”, *BMC Res Notes*, 8:277. doi: 10.1186/s13104-015-1257-y
- Yohannes, S., Bashahum, G., Waktole, Y., 2020, “Veterinary vaccines handling, transportation and storage: factors challenging their efficacy and their adverse effects to the host”, *Global Veterinaria*, 22(3):121-127.
- Zipursky, S., Harouna, D. M., Lodjo, J. C., Olodo, L., Tiendrebeogo, S., Ronveaux O., 2014, “Benefits of using vaccines out of the cold chain: Delivering meningitis a vaccine in a controlled temperature chain during the mass immunization campaign in Berlin”, *Vaccine*, 32:1431-1435.

Estado del clima en América Latina y el Caribe 2023¹

Erick Rodrigo Guevara Rojas²

El estudio del cambio climático se complejiza año con año conforme la gravedad de sus efectos aumenta. La integración de diversos puntos de vista al análisis sólo puede facilitar la toma de decisiones informada, así como apoyar en la difusión de alertas oportunas con el objetivo de prevenir los desastres y las muertes asociadas. Ya que si bien Latinoamérica y el Caribe sólo aportan el 3.94% de las 5,083,173 muertes anuales registradas en promedio desde el 2000 al 2019 que se asocian a condiciones ambientales adversas en todo el mundo, se debe de tener muy claro que persiste un riesgo contra la salud (Zhao, *et al.* 2021). El cuarto informe presentado por la Organización Mundial Meteorológica (OMM) en esta serie titulada *Estado del clima en América Latina y el Caribe* correspondiente al año 2023 también se alertó sobre los primeros casos de fiebre Chikunguña en Uruguay. Así mismo se reportó un incremento en los casos de dengue nunca visto, mientras que Chile presenció la mayor cantidad de mosco transmisor de arbovirus.

El informe recopiló las principales anomalías que se sufrieron durante el año 2023, partiendo de un contexto climático global preocupante, dado que cada año se rompen los récords de concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto invernadero. En específico el CO₂ que promueve un proceso de acidificación de los océanos, aumentando su temperatura y generando consecuencias en el nivel del mar. A nivel regional la respuesta atmosférica fue más lenta ante el aumento de la temperatura en la superficie del mar, sin embargo, se desarrolló el fenómeno del Niño con mayor intensidad (2°C entre noviembre de 2023 y enero de 2024) que el anterior en 2015/2016. El Niño se asocia principalmente con temperaturas de aire más altas y déficit de precipitación.

¹ 4to informe presentado por la Organización Mundial Meteorológica (OMM). 2024

² Egresado de la carrera de Agronomía de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. e-mail: erick_rgr@hotmail.com

Respecto a las temperaturas, se registraron anomalías en toda la región siendo el año más cálido del que se tiene registro y las tendencias no muestran una disminución; al contrario. Durante los meses de agosto y septiembre se reportó una ola de calor sin precedentes en la región que inició con una temperatura récord de 41.8°C en Cuiabá y de 38.7°C en Río de Janeiro, Brasil. En Buenos Aires, Argentina, con nueve grados por encima de lo previsto, se registró una temperatura de 30.1°C. La ola de calor se intensificó durante el mes de septiembre: en Tingo de Ponaza, Perú se registró una temperatura de 41.4°C, esa misma semana en Magdalena, Bolivia se registró una temperatura de 40.3°. Argentina llegó a septiembre con temperaturas de 45°C en Las Lomitas, 43.8° en Resistencia, 43.2°C en Corrientes y 44°C en Formosa, donde el valor normal de 1991- 2020 era 15°C menor.

La ola de calor continuó en el mes de noviembre en Paraguay, donde se alcanzaron temperaturas de 44.5°C en Mariscal Estigarribia y 42°C en Puerto Casado. En Brasil se intensificó la ola de calor rompiendo récords en Río de Janeiro (40.04°C), Porto Murtinho (42.3°C) y Aracuai (44.8°C). En México el verano boreal registró temperaturas superiores a los 45°C en varias estaciones meteorológicas, la más alta se registró en Mexicali, Baja California (51.4°C). La Secretaría de Salud en México informó que de marzo a octubre se produjeron 4,306 casos de golpes de calor, deshidratación y quemaduras, con un saldo de 421 defunciones, siendo 16 los estados afectados, el número de casos se duplicó en comparación con el 2022.

Respecto a la precipitación, se observa a nivel regional una disminución, en México el mayor porcentaje de entre 20% y 60%, con excepciones en Baja California y la península de Yucatán. Panamá y Honduras tuvieron precipitaciones entre 20% y 40% menores a la normal, mientras que en Costa Rica y zonas de Guatemala tuvieron entre 10% y 40% mayores precipitaciones. En la zona de los Andes centrales del Perú, Bolivia y la Amazonia occidental la disminución fue entre un 40% y un 70%.

A finales de septiembre, en plena transición hacia un fenómeno del Niño, México experimentó una sequía en el 76% del país. En Brasil, ocho estados registraron la precipitación más baja en 40 años, el nivel del río Negro, en Puerto de Manaos registro su punto más bajo en la historia. Esas disminuciones se suman a que, en los últimos días de septiembre, miles de peces muertos aparecieron flotando en el lago Piraña, en Manaos. En el lago Tefé se encontraron flotando más de 150 *Inia geoffrensis* (un delfín rosado amenazado por las altas temperaturas). El nivel del río Madeira en Porto Velho, también registró su punto más bajo desde hace 56 años. El Servicio Meteorológico de Bolivia alertó que la falta de agua afectó a más de 487 mil familias. En Puno, Perú el déficit hídrico ha provocado pérdidas de hasta el 80% y 90% en cultivos de papas y cereales respectivamente. Uruguay declaró estado de emergencia hídrica por el verano más seco de los últimos 42 años, afectando la calidad del agua potable del 60% de la población, por lo que se eximió de impuestos la venta de agua embotellada.

A pesar de la disminución en la precipitación y el aumento en la sequía, el número de tormentas que se nombraron fue de 20, cuando el promedio en años anteriores era de 14. En el Pacífico la temporada de huracanes tuvo 17 tormentas con nombre, de las cuales seis llegaron a México y sólo cuatro

se consideraron huracanes: Hilary (Baja California), Norma (Sur de Baja California), Lidia (Jalisco) y Otis (Acapulco), los últimos dos se intensificaron justo antes de tocar tierra. Lidia tocó tierra con vientos de 220 km/h, mientras que Otis tocó tierra con vientos de 260 km/h y en solo 15 horas había escalado a la categoría cinco; no existe registro de un huracán similar o mayor. El paso del huracán dejó 48 víctimas y daños del 80% y 96% de la infraestructura y establecimientos hoteleros respectivamente.

La tormenta tropical Franklin que llegó a República Dominicana de igual manera se intensificó hasta convertirse en huracán provocando inundaciones, superando los 330 mm, dejando daños en 749 viviendas, 2 víctimas mortales y una desaparecida. Al siguiente día dejó 1,6 millones de personas sin abastecimiento de agua. Las lluvias afectaron a más de 7,000 productores y los daños se estimaron en 460 millones de dólares. En Cuba, con menor intensidad, el huracán Idalia ocasionó daños en plantaciones de plátanos, yuca y camote, cruzando el golfo hasta los Estados Unidos, donde también produjo afectaciones.

Durante septiembre en Autlán de Navarro, Jalisco la crecida repentina de un arroyo provocó ocho víctimas mortales. Mientras que en el Caribe una perturbación tropical afectó a Jamaica, Haití y la República Dominicana, dejando un saldo de 21 víctimas. En Brasil, específicamente en la costa de Sao Paulo, se registraron hasta 683 mm de lluvia en 15 horas, que sumado a los desplazamientos de tierra provocaron 65 muertes. Un ciclón provocó que 49 municipios en Río Grande del Sur, Brasil sufrieran inundaciones y deslizamientos de tierra, dejando 48 víctimas, 20,978 personas desplazadas y sin hogar a 4,904. Perú registró ocho víctimas tras el ciclón en Yaku y seis en Piura, con más de 200 desplazados. Paraguay, Argentina y Uruguay presentaron lluvias intensas, con récord de precipitaciones en 24 horas, ráfagas de vientos que afectaron miles de familias y provocaron caídas de árboles y apagones generalizados.

El nivel del mar continuó en ascenso, se promedia en el mundo un aumento de 3.43 mm al año; la costa Atlántica de América del Sur tiene una tasa superior de 3.39 mm, únicamente superada en todo el mundo por la tasa del Atlántico norte y el golfo de México que cuenta con una tasa de 4.23 mm al año. Los glaciares en los Andes, situados en la frontera entre Chile y Argentina muestran reducciones que se agudizaron desde el año 2000 promediando - 96 m equivalente en agua cada año. En Chile el glaciar O'Higgins tuvo una reducción del 2016 al 2023 de 7 km². Mientras que una masa de aire azotó en el mes de julio en Perito Moreno, Argentina, con una temperatura de -22.5°C, la provincia de Mendoza experimentó entre 3 y 5 m de nieve. En Bolivia parte de los daños agrícolas fueron causados por temperaturas sin precedentes de -9°C.

Si bien la mortalidad asociada a condiciones climáticas adversas ha ido en aumento, la seguridad alimentaria también se ha observado en riesgo. Argentina presentó una disminución del 15% en la producción de cereales por falta de humedad. La producción de trigo en Paraná, Brasil registró un descenso de 889 mil toneladas métricas, en Santa Catalina las pérdidas del sector agrícola sumaron 500 millones de dólares. En la zona cercana al Río Grande del Sur se experimentaron vientos que afectaron

el temporal de trigo, soja, maíz y arroz, la superficie de afectación se estimó en más de 120 mil hectáreas y 186 mil toneladas métricas de granos. En Uruguay la sequía afectó cosechas y ganado, en Argentina las inundaciones afectaron 5 millones de cabezas de ganado. Se estima para Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua retrasos en las cosechas, dificultad en el autoabastecimiento y en la producción comercial. En el Caribe el principal problema es la sequía y se declaró una reducción de 44% en las cosechas.

A pesar de que la región es constantemente afectada por condiciones climáticas adversas, solo el 56% de los países que conforman la región de América Latina y el Caribe hace monitoreo del clima. El porcentaje se reduce a 28% cuando se revisa qué países hacen proyecciones del cambio climático. La capacidad de ofrecer alertas tempranas requiere como mínimo información meteorológica confiable para analizar, ya que de lo contrario las zonas identificadas sin datos únicamente generan incertidumbre ante los riesgos que se corren. El informe finaliza mostrando la infraestructura meteorológica con la que cuenta cada país, México en específico presenta un escenario donde sus capacidades meteorológicas apenas son básicas, junto con el 19% de la región, existe un 28% que tiene capacidades esenciales y un 22% con capacidades completas, solo el 3% tiene capacidades avanzadas, mientras que el 25% no cuenta ni con datos climáticos.

Los sistemas de monitoreo deben de existir para alimentar de información los sistemas de alerta, que deben como mínimo desencadenar una reacción preventiva para disminuir los daños producidos por el cambio climático. El análisis de este fenómeno debe ampliarse y acompañarse de un proceso de divulgación que permita ampliar el panorama y ayude en el monitoreo del clima. Se requiere de la participación de todos como observadores del territorio que se habita. De manera oportuna se deben identificar y difundir las amenazas apenas se identifiquen.

BIBLIOGRAFÍA

- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., Schneider, A., Entezari, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Zanobetti, A., Analitis, A., Zeka, A., Tobias, A., Nunes, B., Alahmad, B., Armstrong, B., Forsberg, B., Pan, S., Li, S. (2021). "Global, regional and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study". *The Lancet. Planetary Health*, 5(7), e415-e425. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(21\)00081-4](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(21)00081-4)
- Organización Meteorológica Mundial. (2024). "Estado del clima en América Latina y el Caribe 2023". En *OMM* Núm. 1351. © Organización Meteorológica Mundial, 2024. Recuperado 4 de junio de 2024, de https://library.wmo.int/viewer/68895/download?file=1351_State_of_the_Climate_in_LAC_2023_es.pdf&type=pdf&navigator=1

Crisis de precios internacionales e inseguridad alimentaria: el caso de Centroamérica¹

Adolfo Álvarez Macías²

En los estudios económicos de los últimos años ha predominado la correlación entre el aumento de los precios internacionales de alimentos y el incremento de la inseguridad alimentaria en la mayoría de las naciones pobres. En este documento este vínculo se cuestiona para el caso de los países de lo que se ha denominado Centroamérica (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana, aunque estos dos últimos países estrictamente no corresponden a esa demarcación) y se argumenta que las distorsiones en el desarrollo económico de esos estados y las insuficiencias de las políticas instrumentadas en los últimos años, especialmente ante el enorme trastorno causado por el COVID 19, han figurado como las principales causas de los retrocesos en términos de seguridad alimentaria (SA)³.

La inseguridad alimentaria ha sido un problema mayor desde hace mucho tiempo en Centroamérica, pero en los últimos años la prevalencia de la inseguridad alimentaria moderada y grave en Honduras pasó de 41.6 a 56.1% de población; Guatemala de 42.7 a 59.8% y en El Salvador de 42,2 a 48.8% entre 2014-2016 y 2020-2022. En República Dominicana estos valores bajaron levemente, pero el resultado final ascendió a 52.1%, por lo cual la gravedad en este tema persiste. En Costa Rica el problema ha sido

¹ Banco Mundial. 2024. Precios internacionales y seguridad alimentaria: *Un análisis de la transmisión de los precios de los alimentos y fertilizantes en América Central*. Perego, V.M.E., Brown, M., Ceballos, F., Hernández, M., Berrospi, M.L., Pereira, L.D., Salcedo, S., Benjamin, M.P., Flores, L., Mora, E. Banco Mundial: Washington, DC., 166 pp.

² Profesor Investigador del Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx

³ En el texto se expresa que para el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial (CSA) de las Naciones Unidas la seguridad alimentaria "Se consigue cuando todas las personas en todo momento tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana (p. 23).

menos extremo, pero también este tipo de inseguridad alimentaria se incrementó en el mismo lapso, de 12.1 a 16.2% de la población; para Nicaragua y Panamá se carece de datos. Esta regresión regional coincide con aumentos significativos de los precios internos de los alimentos en 2022 al mismo tiempo que los precios mundiales de los alimentos alcanzaron máximos históricos. En 2022 la inflación general de los precios internos fue elevada en los países centroamericanos, pero la inflación de los precios de los alimentos fue sustancialmente superior a la inflación general. El alza de los precios de los alimentos se ha acompañado de un fuerte incremento de los precios de los fertilizantes desde 2020.

En el plano global, el documento presenta la evolución de los precios internacionales a través del Índice de precios de los alimentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), demostrando que en los años 2021-2023 alcanzaron su punto mayor de la historia reciente, rebasando los de crisis mundiales precedentes como la de 2008. Esto se atribuye, en gran medida, tanto a los efectos del COVID 19 y la crisis económica generalizada que se desencadenó en el mundo, como a otros eventos notables como a la invasión rusa a Ucrania.

Por ello, el índice de precios de los alimentos para América Latina y el Caribe en septiembre de 2022 registró un aumento medio de 11,7%, frente al 7,1% de la inflación global respecto a un año previo. En febrero de 2023, el precio del maíz blanco subió por tercer mes consecutivo en Guatemala y Nicaragua, y por segundo mes consecutivo en El Salvador y Honduras, hasta llegar a niveles de al menos un 20% más alto que un año antes en los cuatro países.

Un fenómeno similar se documenta en torno a los precios de los fertilizantes, tomando como referente las cotizaciones de la urea y el fosfato diamónico (DAP), dos de los más comunes, y el gas natural. Esta problemática se agudizó en febrero de 2022 por el conflicto entre Rusia y Ucrania, el cual ha ejercido mayor presión sobre el precio internacional de los fertilizantes y el combustible, ya que Rusia y Bielorrusia son, respectivamente, el primer y el cuarto exportador mundial de fertilizantes. Además, la mayoría de los países centroamericanos son importadores netos de fertilizantes, mayormente de Rusia, Bielorrusia y Ucrania. Pero los precios de los fertilizantes se elevaron desde finales de 2020, como consecuencia de los problemas logísticos derivados de las interrupciones de las cadenas mundiales de suministro provocadas por el COVID-19, los elevados precios de la energía y el gas natural y las tormentas tropicales que destruyeron fábricas de gas natural en el Golfo de México.

Dado que el 67% de la producción mundial de fertilizantes son nitrogenados y que el principal insumo para este tipo de fertilizantes es el gas natural, los precios de este último insumo energético ha resultado determinante. Así, por ejemplo, el gas natural representa el 86% del costo de producción del amoníaco y el 81% del costo de producción de la urea en las plantas manufactureras. Desde septiembre de 2021, a medida que los primeros signos de recuperación del COVID-19 dieron lugar a un aumento de la inflación de los precios de los combustibles y del gas natural, los países de ALC han tenido que hacer frente a incrementos de precios de hasta 300% en urea y de hasta 200% en otras fórmulas populares de fertilizantes como el DAP, el nitrato de amonio y el cloruro de potasio, en comparación con los precios

predominantes en 2019 y 2020. Esto ha implicado que el costo de los fertilizantes granulados como porcentaje del costo de producción total por hectárea aumentó entre un 45% y un 66% para los alimentos básicos en América Central en 2022, lo cual ha significado una fuerte sanción económica para los agricultores.

Por otro lado, en el texto se plantean varias preguntas claves y, una de las respuestas más trascendentes se enuncia de la siguiente manera: *si los precios internacionales se transmiten a los mercados locales, el encarecimiento de los alimentos y los fertilizantes puede tener un impacto en la seguridad alimentaria al afectar a la capacidad de los consumidores para comprar alimentos y a las decisiones (...) de los agricultores (entre ellas, si producir o no, cómo y qué producir), a pesar de que también podrían aumentar los ingresos netos de los productores* (p. 14).

Por ello, en el estudio se sostiene que los aumentos y la volatilidad de los precios internacionales impactó en los precios internos en América Central. Pero el grado de transmisión de los precios internacionales a los precios locales de los alimentos resultó relativamente bajo. Los grados más bajos de transmisión de los precios medios se encontraron en maíz, frijol, trigo y plátano, que son parte de la canasta básica de este grupo de países. Mientras que se encontraron elasticidades moderadas de transmisión en los precios de arroz, café y fertilizantes. Honduras experimentó algunos de los niveles más altos de transmisión de precios en la mayoría de los productos (incluidos los fertilizantes).

La etapa más reciente de subidas de los precios mundiales de los alimentos, que inició con la crisis mundial de 2008, ha generado una gama de respuestas de política en los países centroamericanos, que típicamente han adoptado un conjunto de medidas a corto plazo. Una respuesta de política común ha consistido en reducir los aranceles a la importación de alimentos y fertilizantes para amortiguar los efectos de transmisión de los precios internacionales de los alimentos a los precios nacionales. Otras medidas presupuestarias en los años 2008-2011 incluyeron la implementación o ampliación de programas de alimentación escolar en El Salvador y Honduras, el apoyo a bancos de semillas comunitarios en El Salvador y la reducción de los impuestos a la producción de granos en Honduras. Guatemala invirtió en la reducción de riesgos a más largo plazo, como otorgar subsidios para la recuperación del suelo y la mejora de la fertilidad, implementar un programa para reservas estratégicas de alimentos, promocionar seguros agrícolas y fomentar la participación de los agricultores familiares como proveedores en el Programa Nacional de Alimentación Escolar (PAE).

Aunadas a las políticas anteriores en esta última crisis de 2022-23 se incluyeron medidas suplementarias como en el caso de Guatemala que aplicó un subsidio temporal al gas propano, así como transferencias de efectivo para mejorar la salud y la nutrición de los estratos de bajos ingresos. En El Salvador y Costa Rica impusieron control de precios sobre el combustible y eliminaron los derechos aduaneros para alimentos y fertilizantes durante un año y se aumentó el salario mínimo. Nicaragua introdujo controles de precios sobre el combustible y el gas propano licuado. Además, varios países aplicaron controles de los precios de los alimentos y la energía, subsidios a los alimentos y la energía,

aranceles reducidos a los fertilizantes, así como medidas de apoyo al uso de fertilizantes orgánicos (locales).

Sobre las políticas adoptadas en Centroamérica los autores afirman que la mayoría han sido acertadas en cuanto a su potencial a corto plazo para lograr un impacto positivo en la seguridad alimentaria. Pero no existen pruebas sobre cuán duraderos pueden haber sido los efectos de estas políticas ni sobre si han mejorado la resiliencia de los países ante futuras crisis.

Los autores también recalcan que otros factores internos han contribuido a la inflación en los precios de alimentos y fertilizantes. Entre ellos destacan, las alteraciones provocadas por el cambio climático y los desastres naturales, considerando que América Central es altamente vulnerable a este tipo de amenazas y que en los últimos años se han intensificado por la ocurrencia de eventos altamente desestabilizadores como los fenómenos de El Niño/La Niña y de tormentas tropicales extremas.

Otros de los factores que pueden explicar la situación reciente de los mercados internos centroamericanos, más allá de las cotizaciones internacionales de alimentos y fertilizantes son: el elevado costo de los insumos como el petróleo, que elevan los costos agrologísticos, la escasa inversión en tecnologías modernas y en bienes públicos como carreteras, puertos, sistemas de información y otros rubros que dificultan la fluidez y eficiencia de las cadenas agroalimentarias.

Cabe subrayar que otros fenómenos comunes en la región estudiada como la violencia pandillera, la inestabilidad política, las amenazas, la extorsión, la persecución y la violencia sexual, que asociadas al tráfico de drogas, han generado múltiples repercusiones en la producción y los precios agrícolas. Desde impedir que los agricultores accedan a los insumos y vendan sus productos hasta provocar la destrucción de cultivos y propiedades, y empujar a los agricultores a abandonar la producción y buscar una vida segura en otros lugares (la Agencia de la ONU para los Refugiados calcula que a finales de 2022 más de un millón de personas habían huido a países vecinos o se habían desplazado internamente dentro de la región). Estos aspectos parecieran ajenos al tema analizado, sin embargo, todo indica que han ejercido una influencia concreta.

En este marco, los autores ofrecen opciones de respuestas de políticas eficientes y que puedan prevenir y mitigar futuras crisis alimentarias. Para ello, formulan una batería de acciones orientada a consumidores, productores y servicios generales. Entre estas medidas destacan las siguientes:

Apoyo a los consumidores

- Reexaminar las medidas comerciales, incluidas las opciones para reducir los aranceles de importación, para atenuar las distorsiones de precios y reducir los precios al consumidor.
- Mantener las redes de protección social ampliadas, que resultaron ser instrumentos valiosos para garantizar el acceso a los alimentos durante las crisis alimentarias en 2008, 2011 y la más reciente.
- Apoyo a los productores

- Reevaluar las transferencias directas a los productores mediante la distribución de insumos o medidas con objetivos similares, como las transferencias de efectivo condicionadas y los bonos vinculados a la adopción de tecnología, con el fin de rebasar los objetivos a corto plazo y lograr también un impacto en el bienestar a mediano y largo plazo.
- La promoción del acceso de los agricultores familiares a los mercados, el financiamiento y los servicios que puede aumentar sus ingresos y su resiliencia a las crisis.
- Apoyo a los servicios generales
- Mejorar los sistemas de información, investigación y desarrollo que permitan al sector innovar y ser más competitivo.
- Inversión integral a largo plazo en infraestructura, estrategias de servicios para generar una mayor productividad, mayores ingresos para los agricultores y una mayor resiliencia al cambio climático.

Se pone especial énfasis en canalizar más inversión pública en áreas que históricamente han mostrado su efectividad en elevar la productividad y resiliencia agrícolas, reducir las pérdidas de alimentos y mejorar el funcionamiento de los mercados nacionales. También se refieren a otras medidas costosas como mejorar la gestión de los recursos hídricos, recuperación de suelos, habilitar carreteras y caminos secundarios, instalaciones de depósito y almacenamiento (en frío), así como mayor eficiencia en las operaciones portuarias. Estas inversiones pueden ayudar a mitigar no sólo los riesgos derivados de shocks en los mercados internacionales, sino también riesgos crónicos inherentes al cambio climático.

Dentro de la agenda de políticas sugeridas se hace un reconocimiento al Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), como una valiosa plataforma potencial para coordinar las iniciativas de política regionales y mantener enfoques coherentes y basados en buenas prácticas, así como para lograr sinergias entre las iniciativas de los distintos países. Además, la coordinación regional de información a través del SICA permitiría mejorar la recopilación de datos agrometeorológicos, climáticos, de producción, precios y seguridad alimentaria para que, tanto los responsables de la formulación de políticas como los productores, puedan mejorar la planificación y la gestión de riesgos. En especial, se recomienda reforzar dispositivos como el Sistema de Información sobre el Mercado Agrícola (SIMA) para evaluar la oferta mundial de alimentos y coordinar las acciones de política en tiempos de incertidumbre en los mercados.

En síntesis, se trata de un documento vasto en cuanto a datos, estimaciones, análisis y propuestas que ilustra la delicada situación que padecen muchas familias de la región en cuanto alimentación y nutrición. También enfatiza en la responsabilidad de las agencias gubernamentales para contar con equipos profesionales que asuman los desafíos provenientes de la inestabilidad de la economía global, el cambio climático y los factores internos y que tengan la capacidad de diseñar e instrumentar políticas sociales, económicas y productivas eficientes y de largo plazo que mitiguen la vulnerabilidad y aumenten la resiliencia de los países y, en especial, de las familias más pobres que padecen inseguridad alimentaria.

Guía para autores

Tipo de contribución

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

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

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

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

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

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

Presentación de textos

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

Los trabajos para consideración pueden ser enviados de dos formas:

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

Adolfo Álvarez Macías

Director Editorial

Revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*

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

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

Tel: 5483-7230 y 31

Archivo electrónico

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

Documento impreso

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

Preparación y consideraciones generales para el manuscrito

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

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

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

Resumen

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

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

Cuadros

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

Ilustraciones

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

Referencias

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

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

a. De publicación periódica

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

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

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

c. De libros

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

d. De un capítulo en libro

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

e. De tesis

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

f. De referencias de sitios

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

g. De artículos de publicaciones periódicas en bases de datos

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

Para otros ver detalles en página web de la revista.

Fórmulas

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

Pie de página

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

Nomenclatura

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

Derechos de autor

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

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

Criterios de ditaminación y pruebas del formato del trabajo

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

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