

ISSN-Revista en Línea: 2539-178X
DOI: 10.47847/fagropec

FAGROPEC

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA - FLORENCIA - CAQUETA



Contacto: rcagropecuarias@uniamazonia.edu.co
Página web OJS: <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec>

Esta publicación es apoyada por la:



 Universidad de la
Amazonia

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA

FAGROPEC

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA - FLORENCIA - CAQUETA

ISSN-Revista en Línea: 2539-178X
DOI: 10.47847/fagropec

PRESENTACIÓN

La Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FAGROPEC), es una publicación semestral, abierta a la difusión y discusión de trabajos en el área de la medicina veterinaria, la zootecnia, la biología, la salud pública, la epidemiología, la agronomía, la agroecología, y demás ciencias animales y agrarias, ofreciendo un espacio de discusión académico, fundamental para la formación de profesionales críticos y analíticos



OBJETIVO DE LA REVISTA

La Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FAGROPEC), de la Universidad de la Amazonia, tiene como objetivo divulgar los avances del conocimiento técnico y científico, generados en las universidades, centros y entidades de investigación en áreas relacionadas con los sistemas de producción agropecuarios y la conservación natural, mediante la publicación semestral de un volumen digital con documentos en español, portugués o inglés.

La publicación está dirigida a estudiantes, profesionales y demás interesados en temas relacionados con la medicina veterinaria, la zootecnia, la biología, la salud pública, la epidemiología, la agronomía, la agroecología, y demás ciencias animales y agrarias, ofreciendo un espacio de discusión académico, fundamental para la formación de profesionales críticos y analíticos

Áreas temáticas

Ciencias Agrarias, Ciencias Naturales y de la Conservación

Licencia Creative Commons Atribución
4.0 Internacional (CC BY 4.0)





ISSN-Revista en Línea: 2539-178X
DOI: 10.47847/fagropec

EQUIPO

EDITORIAL

EDITOR GENERAL

Yury Tatiana Granja Salcedo, PhD
*Investigadora Asociada,
Agrosavia*

COMITÉ EDITORIAL

Hugo Mantilla-Meluk, Ph.D.

Universidad del Quindío

Gustavo Pimenta Schettini, Ph.D.

*Universidad de la Commonwealth de
Virginia, Estados Unidos*

Juan Camilo Cardona Castaño, Ph.D.

*Universidad Autónoma de Querétaro,
México*

Luis Gabriel Rivera Calderón, Ph.D.

Universidad de los Llanos

Naudin Alejandro Hurtado Lugo, Ph.D.

Universidad Francisco de Paula Santander

José Armando Sánchez Salcedo, Ph.D.

Universidad Veracruzana, México

José Fernando Vasco Leal, Ph.D.

Universidad Autónoma de Querétaro, México

COMITÉ ARBITRAJE

Jahaziel David Amaya Bayona.

Universidad Antonio Nariño

Esther Julia Olaya Marín.

Universidad de la Amazonia

Alberto Solís Lozano

Universidad Autónoma de Querétaro, México

María Beatriz Escobar Escobar

Universidad del Quindío

Isaac Tello Salgado

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

David Eduardo Alvarez Sanchez

*AGROSAVIA - Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria*

Dixon Fabian Flórez Delgado

Universidad de Pamplona, Colombia

José Armando Sánchez Salcedo

Universidad Veracruzana, México

Edgar Martínez Moyano

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y
Técnicas-CONICET, Argentina*

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Karol Andres Suarez Castro, Esp. TIC

IMAGEN DE PORTADA

Resguardo Indígena



C TABLA DE CONTENIDO

	Página
Nota del Editor <i>Yury Tatiana Granjas Salcedo, PhD.</i>	6
<hr style="border-top: 1px dotted black;"/>	
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA	
INFLUÊNCIA DO HERBICIDA GLIFOSATO NA GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE INGA EDULIS MART. (FABACEAE) E DE MYRCIARIA DUBIA (MYRTACEAE) NA AMAZONIA COLOMBIANA <i>Influence Of The Herbicide Glyphosate On The Germination And Vigor Of Seeds Of Inga Edulis Mart. (Fabaceae) And Myrciaria Dubia (Myrtaceae) In Colombian Amazon</i> <i>Ismael Dussan, Cristian David Plaza Pérez, Thiago Costa Ferreira</i>	7-18
LA GESTIÓN PÚBLICA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: ESTUDIO SOBRE LAS OPINIONES CIUDADANAS EN EL MUNICIPIO DE EZEQUIEL MONTES (MÉXICO) <i>Public Management in the face of climate change: a study of citizen opinions in the municipality of Ezequiel Montes, Querétaro</i> <i>Israel Ferruzca Ibarra, Alejandro Flores Silvestre, María Evelyn Rincón García, María Fernanda Sicilia Martínez, Citlali Trejo Ángeles, Hebe Naomi Pérez Rico</i>	19-41
PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) A NIVEL COMUNITARIO RURAL: PERSPECTIVA DE ACTORES DE LLANO REAL, MUNICIPIO DE BENITO JUÁREZ, MÉXICO. <i>Problem of Urban Solid Waste (USW) at the Rural Community Level: Perspective of Actors from Llano Real, Municipality of Benito Juárez, Mexico</i> <i>Alejandro Arroyo Reyes, Ana Laura Juárez López, María Guadalupe Ibarra, María Laura Sampedro Rosas, Ramón Bedoya Solano, Félix Noe Bahena</i>	42-61



C TABLA DE CONTENIDO

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

- ÍNDICE DE SOBERANÍA ALIMENTARIA EN MÉXICO, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, ¿AÚN HAY ESPERANZA PARA EL CASO MEXICANO?** 62-73

Food Sovereignty Index in Mexico Through Principal Component Analysis: Is There Still Hope for the Mexican Case?

Juan Hernández Ortíz, Abel Pérez Zamorano, Alejandro Alberto Miliano, Gerónimo Barrios Puente, Victoria Martínez Martínez

- EFFECTOS ECONÓMICOS DE LA SEQUÍA EN EL DR011 ALTO RÍO LERMA, GUANAJUATO, MÉXICO** 74-98

Economic effects of drought in DR011 Alto Río Lerma, Guanajuato, Mexico

Fernando Dámaso Fuentes López, Ramón Valdivia Alcalá, Juan Hernández Ortíz, Juanita Japheth Valdivia Cabral

- RESPUESTA DE 20 GENOTIPOS DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM GRUPO TUBEROSUM) FRENTE AL COMPLEJO PUNTA MORADA** 99-117

Response Of 20 Potato Genotypes (Solanum Tuberosum, Tuberosum Group) To The Punta Morada Complex

Carolina Martínez Moncayo, Josue Esleyder Cuaran Rodríguez, David Esteban Duarte Alvarado, Tulio Cesar Lagos Burbano

ARTÍCULOS DE REVISIÓN CIENTÍFICA

- LA AMAZONIA COLOMBIANA FRENTE A LOS DESAFÍOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE: PERSPECTIVAS DESDE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA** 118-132

The Colombian Amazon and the Challenges of Sustainable Development: Interpretive Perspectives from Agricultural Production.

Edna Milena Murcia Artunduaga, Yudi Marcela Ramos Prias, Adrián Rolando Riascos Vallejos, Adriana Eugenia Suarez Salazar

- PROTOCOLO PRELIMINAR DE BIENESTAR ANIMAL EN PLANTAS DE SACRIFICIO DE AVES ADAPTADO DE WELFARE QUALITY®** 133-157

Preliminary Animal Welfare Protocol For Poultry Slaughterhouses, Adapted From Welfare Quality®

Johann Fernando Hoyos Patiño, Nancy Rodríguez Colorado, César Augusto Zapata Ortíz



NOTA DEL EDITOR

PhD. Yury Tatiana Granjas Salcedo,
Editor General

Estimada comunidad lectora,

Es un honor para mí presentar el volumen 18, número 1, del año 2026 de nuestra querida revista FAGROPEC. Confirmando el compromiso de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de la Amazonía en fomentar técnica y socialmente el desarrollo agropecuario e industrial con enfoque de sostenibilidad, este nuevo número reúne once investigaciones nacionales e internacionales que abordan desafíos cruciales para el sector agropecuario, la conservación ambiental y el desarrollo rural.

En esta edición, hemos querido dar un énfasis especial al bienestar animal, una temática que se consolida como pilar de la calidad sanitaria, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad productiva. Presentamos una valiosa revisión titulada "Protocolo preliminar de bienestar animal en plantas de sacrificio de aves adaptado de Welfare Quality®", que aborda una fase crítica de la producción avícola donde el manejo humanitario antes del sacrificio impacta directamente la calidad de la carne y el cumplimiento de estándares internacionales. Este trabajo representa un avance significativo para la implementación de metodologías estandarizadas en nuestro contexto latinoamericano. Frente a estos desafíos, el rol del Médico Veterinario Zootecnista resulta insustituible. No solo como responsable del diagnóstico sanitario, sino como actor clave en el diseño de protocolos de manejo humanitario, la capacitación del personal y la articulación entre la normativa colombiana (Resolución 136 de 2020) y las condiciones reales de planta de sacrificio. Su intervención profesional transforma la evaluación en acciones concretas que mejoran la calidad de vida animal y la inocuidad de los productos de origen avícola.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los autores nacionales e internacionales provenientes de Colombia, México y Brasil por confiar en FAGROPEC para divulgar sus resultados. Asimismo, reconozco el arduo trabajo del equipo editorial y de los revisores pares, cuya labor garantiza la calidad y rigurosidad de cada publicación.

Espero que disfruten de esta edición y que encuentren inspiración para seguir avanzando hacia prácticas agropecuarias más sostenibles, éticas y responsables, desde nuestra Amazonia colombiana hasta el resto de Iberoamérica.

¡Gracias por su continua confianza en nuestra revista FAGROPEC!

Atentamente,

Yury Tatiana Granja Salcedo
Editora General, Revista FAGROPEC
Investigadora PhD asociada, Agrosavia



INFLUÊNCIA DO HERBICIDA GLIFOSATO NA GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE *Inga edulis* Mart. (Fabaceae) E DE *Myrciaria dubia* (Myrtaceae) NA AMAZONIA COLOMBIANA

Influence Of The Herbicide Glyphosate On The Germination And Vigor Of Seeds Of Inga Edulis Mart. (Fabaceae) And Myrciaria Dubia (Myrtaceae) In Colombian Amazon

ISMAEL DUSSAN¹



<https://orcid.org/0000-0001-9742-9134>



ismael.dussan@unad.edu.co

THIAGO COSTA FERREIRA²



<https://orcid.org/0000-0002-2368-6223>



professor.thiagoferreira1@gmail.com

CRISTIAN DAVID PLAZA PÉREZ³



<https://orcid.org/0000-0002-6644-040X>



c.plaza@udla.edu.co

¹ECAPMA, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Cead Florencia, Colombia

³GIMAE, Doctorado en Educación y Cultura Ambiental, Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia

²Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Paraíba, Brasil.

RESUMO

Moléculas do herbicida Glifosato dispersas no ambiente podem ser agentes de contaminação ambiental e ainda diminuir a germinação e vigor de plântulas e sementes de espécies florestais em áreas de intensa utilização desta molécula, como a Floresta Amazônica na Colômbia. Nesta área é comum a presença das espécies *Inga edulis* e de *Myrciaria dubia*, espécies pouco estudadas em relação a diversos fatores ecológicos. Sendo assim, este artigo teve o objetivo de avaliar a influência da presença de Glifosato na germinação e vigor em sementes de *I. edulis* e de *M. dubia*. Os ensaios foram realizados separadamente, em ambos as foram embebidas durante 30 min em soluções de glifosato (0,0; 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 g L⁻¹), cada tratamento correspondeu a uma concentração e era composta por quatro repetições de 25 sementes cada. As sementes foram semeadas em rolo de papel e em areia, avaliadas até estabelecimento da germinação e de vigor, os resultados descritos foram analisados por meio de ANOVA e teste de Tukey. A influência da presença de doses de Glifosato (1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 g.L⁻¹) é negativa

PALABRAS CLAVES:

Doenças abióticas,
Patologia Florestal,
Sementes recalcitrantes,
Silvicultura.

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 8 de Octubre de 2025 / Fecha Aprobación: 10 de Diciembre 2025 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Dussan, I., Costa Ferreira, T. & Plaza Pérez, C. D. (2026). *Influência do herbicida glifosato na germinação e vigor de sementes de inga edulis mart. (Fabaceae) e de myrciaria dubia (myrtaceae) na amazonia colombiana*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 7-18. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a1>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

diminuindo a germinação e vigor em sementes de *I. edulis* e de *M. dubia*.

ABSTRACT

Molecules of the herbicide glyphosate dispersed in the environment can act as agents of environmental contamination and reduce the germination and vigor of seedlings and seeds of forest species in areas of intensive use of this molecule, such as the Amazon Forest in Colombia. In this area, the presence of the species *Inga edulis* and *Myrciaria dubia* is common, species that are understudied in relation to various ecological factors. Therefore, this article aimed to evaluate the influence of the presence of glyphosate on the germination and vigor of seeds of *I. edulis* and *M. dubia*. The tests were conducted separately; in both, the seeds were soaked for 30 minutes in glyphosate solutions (0.0, 1.8, 3.6, 5.4, and 7.2 g L⁻¹). Each treatment corresponded to one concentration and consisted of four replicates of 25 seeds each. The seeds were sown in paper rolls and in sand, evaluated until germination and vigor establishment. The described results were analyzed using ANOVA and Tukey's test. The influence of the presence of glyphosate doses (1.8, 3.6, 5.4, and 7.2 g.L⁻¹) is negative, reducing the germination and vigor of seeds of *I. edulis* and *M. dubia*.

KEYWORDS

Abiotic diseases, Forest Pathology, Recalcitrant seeds, Silviculture.

INTRODUÇÃO

Florestas equatoriais são importantes para o equilíbrio planetário, inclusive a região da Amazônia apresenta uma significativa função no clima da América do Sul, conforme está descrito na literatura (Mendieta et al., 2024).

A diversidade de espécies da Amazônia colombiana é imensa, podendo ser destacadas as espécies *Inga edulis* Mart. (Fabaceae) (Malaver et al., 2025) e *Myrciaria dubia* (Myrtaceae), por sua relevância ecológica e social.

Inga edulis Mart. (Fabaceae) apresenta frutos na forma de vagem, com as sementes envoltas por polpa adocicada e comestível (Guimarães et al., 2024). A casca deste fruto contém aproximadamente 66,3% de fibra insolúvel, consistindo em uma mistura de celulose, hemicelulose e lignina, com potencial para a produção de emulsificantes (Malaver et al., 2025). A germinação desta espécie ocorre rapidamente, até o décimo dia de semeio em condições ótimas (altas umidade e temperatura) e as sementes são classificadas como recalcitrantes, perdendo sua viabilidade rapidamente (Guimarães et al., 2024).

Myrciaria dubia (Kunth) Mc Vaugh (Myrtaceae) apresenta importância ecológica pois seus frutos são comestíveis por humanos e animais, sendo importantes para populações amazônicas pelo seu valor nutritivo e social. Sementes recalcitrantes, que normalmente germinam em menos de 40 dias após o semeio, sem apresentar dormências (Jardim y Fontenele, 2023; Smirdele et al., 2021).

Tal região apresenta grande pressão antrópica, sendo relevante neste quesito a região da Amazônia Colombiana, área relevante em problemas antrópicos (Mendieta et al., 2024). Entre as principais pressões ambientais a exploração madeireira, seguida da implantação de lavouras e pastagens são os relevantes problemas ambientais desta região (Mendieta et al., 2024). Ainda, para manejo dessas áreas, a utilização de moléculas herbicidas é considerável, as mesmas por sua vez podem gerar problemas na vegetação não-alvo quando aplicadas de maneira incorreta (Armenteras, 2024).

Dentre estas moléculas, utilizando relatos do Brasil, por exemplo, existem descrições de problemas ecológicos ocasionados pelo uso inadequado de organofosforados, fator este que ainda foi pouco estudado com sementes da Amazônia colombiana segundo a literatura (Armenteras, 2024). É comum serem utilizados estes compostos na Amazônia colombiana, para a erradicação de ervas daninhas por produtores rurais e cultivos de *Erythroxylum coca* pelo governo (Morales y Beltrán, 2022).

Dentre os organofosforados mais utilizados na região citada, o Glifosato (N-(fosfometil) glicina) é um dos mais destacados (National Center For Biotechnology Information et al., 2023). Este composto tem ação de amplo espectro em dicotiledôneas e é usado e vendido de maneira não controlada em vários locais (Shimitz et al., 2019; Ávila et al., 2020), inclusive na Amazônia Colombiana (Armenteras, 2024).

A avaliação da influência do glifosato em espécies florestais, principalmente em suas sementes foi descrita por estudos conduzidos por Oliveira et al. (2020) e Vieira et al. (2022). Nestes estudos, a experimentação com a imersão de sementes em soluções de Glifosato é um dos primeiros passos para a verificação em laboratório dos efeitos em espécies nativas. Piotrowicz-Cieślak et al. (2010), descreve que espécies de gramíneas submetidas a 16 concentrações de glifosato variando de 0 a 2000 μM diminuíram a germinação e vigor na presença de Glifosato. Ferreira et al. (2023) evidenciaram fitotoxicidade do glifosato em plântulas de 24 espécies nativas não alvo avaliadas sob um gradiente de doses de 525, 1050, 2100, 4200 e 8400 g i.a.ha⁻¹. Reduções superiores a 60% no crescimento foram observadas apenas com 25% da dose agrícola recomendada, com maior sensibilidade em estágios iniciais de desenvolvimento e em sementes provenientes de fragmentos com baixa exposição histórica ao herbicida.

A contaminação e absorção de Glifosato, segundo Moraes e Rossi (2010), pode estar ligada a diversos pontos (National Center For Biotechnology Information, 2023), inclusive solos (OLIVEIRA et al., 2020) e recursos hídricos (Bonfleur et al., 2015), deslocando-se ao longo do perfil e potencialmente ocasionando toxicidade ou ecotoxicidade vegetal (Simões et al., 2024).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de influência do herbicida glifosato na germinação e vigor de sementes de *Inga edulis* Mart. (Fabaceae) e de *Myrciaria dubia* (Myrtaceae), espécies relevantes na Amazônia Colombiana.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no laboratório multipropósito da Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), município de Florencia departamento de Caquetá, Colômbia (Coordenadas 1°36'51"N e 75°36'42"O). A região é caracterizada por um clima tropical úmido, com precipitação anual variando entre 3000 e 4000 mm, umidade relativa do ar superior a 80% e temperatura média anual em torno de 25 °C. A vegetação apresenta fisionomias distintas da Floresta Amazônica, assentada sobre solos ácidos e com baixa fertilidade, predominantemente Oxissolos e Ultissolos, a uma altitude de aproximadamente 300 metros, onde também se encontram solos aluviais com drenagem deficiente e solos montanhosos pouco profundos (Armenteras, 2024).

Para a coleta de material biológico, foram selecionadas vinte árvores-matrizes, distribuídas aleatoriamente, das espécies *Inga edulis* e *Myrciaria dubia*. Os frutos foram coletados, beneficiados e as sementes submetidas a sanitização (imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1% por um minuto).

As sementes de ambas as espécies foram submetidas a um tratamento de embebição por trinta minutos em soluções do herbicida glifosato nas concentrações de 0,0; 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 g L⁻¹ de ingrediente ativo. Utilizou-se um produto comercial cuja formulação contém 480 g L⁻¹ de sal de isopropilamina de N-(fosfometil)glicina. A dose de 3,6 g L⁻¹ equivale à recomendação técnica de 2,5 litros por hectare, comumente aplicada no controle de diversas plantas daninhas, segundo Moraes y Rossi (2010).

As constagens de germinação foram avaliadas por meio do ensaio em rolo de papel (Brasil, 2009). Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos e mantidos em ambiente controlado a $28 \pm 2^\circ\text{C}$, sob luz natural por aproximadamente 16 horas diárias. Foram registrados o percentual de germinação na primeira contagem (aos 7 dias - PC) e na contagem final (aos 14 dias - FC), bem como o percentual de sementes não germinadas. Adicionalmente, calcularam-se o índice de velocidade de germinação (IVG), o tempo médio de germinação (TMG) e a velocidade média de germinação (VMG).

Paralelamente, conduziu-se um ensaio de emergência em areia. As sementes foram semeadas manualmente em bandejas plásticas preenchidas com areia até 4 cm de profundidade. O experimento foi mantido sob temperatura controlada ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) e luz natural, com a umidade do substrato mantida em 60% da capacidade de retenção através de irrigações manuais. A emergência de plântulas foi avaliada diariamente. Foram analisadas as porcentagens de emergência na primeira contagem (aos 14 dias - PC) e na contagem final (aos 25 dias - FC), o percentual de sementes não germinadas, o índice de velocidade de emergência (IVE), o tempo médio de emergência (TME), a velocidade média de emergência (VME) e, por fim, o comprimento das raízes e da parte aérea das plântulas, medido com uma régua graduada (Ferreira et al, 2022).

Todos os experimentos foram realizados com quatro repetições de 25 sementes por tratamento. As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) para determinar a diferença estatística entre a repetição dos experimentos, as médias foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). Os dados foram analisados usando o pacote "Agricolae" no software R (Mendiburu, 2021).

RESULTADOS

Para a espécie *Inga edulis*, em relação ao experimento de germinação em rolo de papel, todas as variáveis apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos analisados, com diferença estatística para o tratamento Controle que foi diferente dos demais, a estabilização da germinação ocorreu com dezessete dias após o semeio. Sobre o experimento de emergência em areia, todas as variáveis apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos analisados, com diferença estatística para o tratamento Controle que foi diferente dos demais; neste ainda foi registrada uma emergência no tratamento de $3,6 \text{ gL}^{-1}$ com posterior morte das plântulas, a estabilização da germinação ocorreu com vinte dias após o semeio (Tabela 1).

Tabela 1.

Germinação em papel e emergência em areia de sementes e plântulas de *Inga edulis*, tratadas com as concentrações 0,0; 1,8; 3,6; 5,4 e $7,2 \text{ gL}^{-1}$ de Glifosato.

Experimento - Rolo de papel						
Tratamento (gL^{-1})	IVG	TMG	AMG	IRM	PC (%)	FC (%)
0,0	1,56 b	7,76 b	0,12 b	0,20 b	6,00 b	86,00 b
1,8	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
3,6	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a

5,4	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
7,2	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0108	0,0108
Erro padrão	0,01	0,09	<0,001	<0,001	1,63	0,73
CV (%)	7,14	12,72	16,79	9,13	22,57	8,3
Experimento - Areia						
Tratamento (g.L ⁻¹)	IVE	TME	AME	IRM	PC (%)	FC (%)
0,0	1,54 b	9,03 b	0,20 a	0,17b	8,00 b	82,00 b
1,8	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
3,6	0,25 a	1,22 a	0,12 a	0,10 a	2,00 a	2,00 a
5,4	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
7,2	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
p	<0,001	<0,001	0,0498	0,0005	<0,001	<0,001
Erro padrão	0,09	0,09	0,23	0,02	0,89	3,65
CV (%)	5,49	6,24	16,52	9,49	8,94	4,34

Para a espécie *Myrciaria dubia*, em relação o experimento de germinação em papel, houveram diferenças significativas entre os tratamentos. O tratamento Controle foi diferente dos demais tratamentos em todas as variáveis, exceto na variável TMG onde foi semelhante aos tratamentos de 1,8 e 3,6 g/L de Glifosato. Houve um retardamento da germinação que configurou anormalidade e CV% alto na variável PC (Tabela 2).

Sobre o experimento de emergência em areia, houveram diferenças significativas entre os tratamentos; tratamento Controle foi diferente dos demais tratamentos em todas as variáveis, exceto na variável TME onde foi semelhante aos tratamentos de 1,8 e 3,6 g/L de Glifosato. Houve um retardamento da germinação que configurou anormalidade e CV% alto na variável PC (Tabela 2).

Tabela 2.

Germinação em papel e emergência em areia de sementes e plântulas de, Myrciaria dubia tratadas com as concentrações 0,0; 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 g.L⁻¹ de Glifosato.

Experimento - Rolo de papel						
Tratamento (g.L ⁻¹)	IVG	TMG	AMG	IRM	PC (%)	FC (%)
Controle	11,99 d	28,54 b	0,35 b	0,42 b	12,00 c	100,00 d
1,8	8,31 c	28,71 b	0,00 a	0,00 a	5,00 b	71,00 c
3,6	4,50 b	28,52 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	36,00 b
5,4	1,64 a	27,73 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	11,00 a
7,2	1,23 a	27,68 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	8,00 a
p	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001
Erro padrão	0,33	0,09	<0,001	<0,001	0,85	2,16
CV (%)	12,01	0,71	36,89	22,59	50,37	9,56
Experimento - Areia						
Tratamento (g.L ⁻¹)	IVE	TME	AME	IRM	PC (%)	FC (%)

Controle	15,28 d	31,12 b	0,03 b	0,49 b	12,00 c	100,00 d
1,8	10,65 c	31,26 b	0,00 a	0,00 a	5,00 b	71,00 c
3,6	5,68 b	31,01 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	36,00 b
5,4	2,00 a	30,14 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	11,00 a
7,2	1,50 a	30,05 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	8,00 a
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Erro padrão	0,38	0,11	0,00	<0,01	0,85	2,16
CV (%)	10,90	0,75	0,00	19,36	50,37	9,56

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram o glifosato efeito fitotóxico expressivo na germinação e no vigor das sementes de *Inga edulis* Mart. (Fabaceae) e *Myrciaria dubia* (Myrtaceae), com reduções significativas na maioria dos parâmetros avaliados, tanto em papel quanto em areia. Esse comportamento confirma os resultados obtidos por outros autores sobre a sensibilidade de espécies florestais nativas à presença desse herbicida em ambientes tropicais (Ávila et al., 2020; Florencia, 2017; Piotrowicz-Cieślak et al., 2010).

Para *I. edulis*, as sementes exibiram inibição completa da germinação a partir da concentração de 1,8 g L⁻¹, resultando em elevada suscetibilidade, especialmente considerando sua natureza recalcitrante e alto conteúdo de umidade (Guimarães et al., 2024). Tal característica fisiológica poderia favorecer a penetração e o acúmulo do glifosato nos tecidos embrionários, levando a comprometer o metabolismo energético e possivelmente o alongamento radicular. Resultados parecidos foram registrados por Pereira et al. (2015), que observaram reduções expressivas no vigor e crescimento de espécies florestais nativas expostas a doses de 43,2 a 345,6 g ha⁻¹ de glifosato, e por Silva et al. (2018), quem reportaram queda na germinação e qualidade de sementes de soja RR® 2 a partir de 1.440 g ha⁻¹ do herbicida.

No caso de *M. dubia*, embora a germinação inicial tenha ocorrido em concentrações mais baixas, observou-se redução progressiva do vigor e alongamento das plântulas com o aumento das doses de glifosato. Essa tendência pode ser interpretada como um efeito dose-dependente, também relatado por Santos et al. (2020) e Yamashita et al. (2009), os quais observaram diminuição linear na emergência e crescimento inicial de espécies nativas sob influência de glifosato e 2,4-D. Além disso, os altos coeficientes de variação observados nas contagens iniciais de germinação indicam desuniformidade fisiológica induzida por estresse químico, o qual está em concordância com descrições de Bruggen et al. (2021) sobre os efeitos indiretos do glifosato em processos metabólicos vegetais.

Do ponto fisiológico, a toxicidade do glifosato pode estar relacionada à sua interferência na via do ácido chiquímico, essencial à biossíntese de aminoácidos aromáticos como triptofano, fenilalanina e tirosina, necessários no crescimento e a lignificação celular (Oliveira y Brighenti, 2020). Esse bloqueio metabólico, adicionado à possível alteração da microbiota do substrato (Bonfleur et al., 2015; Guiarro et al., 2018), pode comprometer

a simbiose e a absorção de nutrientes minerais nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas. No contexto amazônico, esses efeitos podem ser ampliados devido ao alto teor de matéria orgânica e à dinâmica hídrica dos solos, facilitando o transporte e a persistência do composto no perfil (Geng et al., 2021; Marques et al., 2021).

Ao ser comparadas as duas espécies estudadas, pode-se indicar que *M. dubia* apresenta ligeira tolerância relativa, possivelmente associada à estrutura de suas sementes, cujo tegumento mais espesso e a composição rica em polifenóis poderiam reduzir a difusão do herbicida para o embrião. Em contraste, as sementes de *I. edulis* caracterizam-se por seu tegumento delgado e permeável, podendo aumentar a absorção da molécula. Essa diferença morfofisiológica ressalta a importância de compreender a variabilidade intra e interespecífica na resposta ao glifosato (Ferreira et al., 2022; Sena et al., 2022).

Os resultados também reforçam a preocupação de Armenteras (2024) e Morales y Beltrán (2022) sobre a denominada “deflorestação química” em países amazônicos, provocada principalmente por uso intensivo e não controlado de herbicidas. Embora o glifosato seja amplamente empregado no manejo de áreas agrícolas e na erradicação de cultivos ilícitos, sua dispersão ambiental pode afetar a regeneração natural de espécies nativas, alterando a composição florística e modificando os processos de sucessão ecológica. A persistência da molécula no solo e sua mobilidade em corpos d’água (Moraes y Rossi, 2000) sugerem riscos cumulativos à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos amazônicos.

Assim, os resultados obtidos deste trabalho concordam com a literatura a qual alerta para a necessidade de reavaliar o uso de herbicidas de amplo espectro em ecossistemas tropicais sensíveis como a Amazônia colombiana (Marques et al., 2021; Mendieta y Grueso, 2024). Além de fornecer evidências sobre os efeitos imediatos do glifosato em sementes amazônicas, esta pesquisa estabelece uma base experimental para estudos futuros sobre bioacumulação, alterações fisiológicas e mecanismos de resistência em espécies florestais. A adoção de práticas agroecológicas e o monitoramento ambiental em áreas de uso intensivo de herbicidas emergem como estratégias prioritárias para a conservação e restauração da Amazônia colombiana.

CONCLUSÕES

A presença do herbicida glifosato, mesmo em concentrações menores, demonstrou efeito negativo significativo sobre a germinação e o vigor das sementes de *Inga edulis* Mart. (Fabaceae) e *Myrciaria dubia* (Myrtaceae). A redução dos índices de germinação e emergência evidencia a sensibilidade dessas espécies amazônicas ao composto, reforçando a necessidade de cuidado no uso indiscriminado de herbicidas em áreas florestais e agrícolas adjacentes à floresta tropical.

Do ponto de vista ecológico, a persistência e a mobilidade do glifosato em solos e recursos hídricos como reportadas na literatura ampliam o risco de contaminação difusa, afetando comunidades microbianas, plantas não alvo e cadeias tróficas associadas. Nesse sentido, a presente pesquisa contribui como evidência inicial da vulnerabilidade

de espécies nativas de relevância ecológica e socioeconômica à contaminação por herbicidas.

Recomenda-se para futuras pesquisas abordar a interação entre doses subletais de glifosato e variáveis fisiológicas, bioquímicas e genéticas das sementes e plântulas amazônicas, incluindo testes de bioacumulação e recuperação pós-exposição. Além disso, é fundamental promover políticas públicas e práticas agrícolas sustentáveis que reduzam a dependência de herbicidas, priorizando alternativas agroecológicas compatíveis com a conservação da biodiversidade amazônica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Cead Florencia, pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Campina Grande. Termo de Outorga n° 235/2025, emitido em 01/03/2025, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ-PB).

REFERENCIAS

- Álvarez, F., Casanoves, F., & Suárez, J. C. (2021). *Influence of scattered trees in grazing areas on soil properties in the Piedmont region of the Colombian Amazon*. PLOS ONE, 16(12), e0261612. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261612>
- Amarante Júnior, O. P., dos Santos, T. C. R., Brito, N. M., & Ribeiro, M. L. (2002). Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, 25(4), 589–593. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>
- Ávila, J. de, Cardoso, F. B., de Lima, S. F., Barzotto, G. R., & Zanella, M. S. (2020). Presence of glyphosate can harm the germination of bean seeds treated with biostimulant. *Bioscience Journal*, 36(1), 122–132. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n1a2020-42441>
- Armenteras, D. (2024). La amenaza silenciosa de la deforestación química en los países amazónicos: un nuevo desafío para la conservación y la legislación ambiental. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 48(189), 967–969.
- Bonfleur, E. J., Valdemar, L. T., Borges Regitano, J., & Lavorenti, A. (2015). The effects of glyphosate and atrazine mixture on soil microbial population and subsequent impacts on their fate in a tropical soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226, 1–10.
- Bruggen, A. H. C., Finckh, M. R., Ritsema, C. J., Harkes, P., Knuth, D., & Geissen, V. (2021). Indirect effects of the herbicide glyphosate on plant, animal and human health through its effects on microbial communities. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 763917. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.763917>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2009). *Regras para*

análise de sementes. MAPA/ACS.

- Ferreira, T. C., Oliveira, M. R. G. de, & Perez-Marín, A. M. (2022). Methodological contributions for the implementation and evaluation of seed experiments regarding germination and vigor. *Biofix Scientific Journal*, 7(1), 17–26. <https://doi.org/10.5380/biofix.v7i1.81336>
- Ferreira, M. F., Torres, C. C., Bracamonte, E. R., & Galetto, L. (2023). Glyphosate affects the susceptibility of non-target native plant species according to their stage of development and degree of exposure in the landscape. *Science of the Total Environment*, 865, 161091. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161091>
- Florencia, F. M. (2017). Effects of the herbicide glyphosate on non-target plant native species from Chaco forest (Argentina). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144(1), 360–368. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.049>
- Geng, Y., Jiang, L., Zhang, D., Liu, B., Zhang, J., Cheng, H., Wang, L., Peng, Y., Wang, Y., Zhao, Y., Xu, Y., & Liu, X. (2021). Glyphosate, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate ammonium in agricultural groundwater and surface water in China from 2017 to 2018: Occurrence, main drivers, and environmental risk assessment. *Science of The Total Environment*, 769, 144396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144396>
- Guiarro, K. H., Aparicio, V., De Gerónimo, E., Castellote, M., Figuerola, E. L., & Costa, J. L. (2018). Soil microbial communities and glyphosate decay in soils with different herbicide application history. *Science of The Total Environment*, 634, 974–982. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.393>
- Guimarães, F. A. B., Pastorini, L. H., Romagnolo, M. B., & de Souza, L. A. (2024). Seed germination and seedling structure of *Inga vera* Willd. (Fabaceae). *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 16(2), e3363.
- Jardim, I. N., & Fontenele, M. G. (2023). Impactos da inundação sobre as características morfológicas de plântulas de *Myrciaria dubia*. *Revista Delos*, 16(45), 1891–1905.
- Malaver, J. C. V., Guasca, Á. M. C., Álvarez, L. F. L., Lépine, M., & Risueño, M. (2025). Forest, bamboo, and agroforestry systems for climate change adaptation in coffee farms of Colombia. *Bois et Forêts des Tropiques*, 362, 1–15.
- Marques, J. G. C., Veríssimo, K. J. D. S., Fernandes, B. S., Ferreira, S. R. M., Montenegro, S. M. G. L., & Motteran, F. (2021). Glyphosate: A review on the current environmental impacts from a Brazilian perspective. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107, 385–397. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03295-4>
- Maqueda, C., Undabeytia, T., Villaverde, J., & Morillo, E. (2017). Behavior of glyphosate in the soil and its degradation by microorganisms. *Environmental Pollution*, 227, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.054>

- Mendiburu, F. (2021). *agricolae: Statistical procedures for agricultural research* (Version 1.4-0) [R package]. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Mendieta, D., & Grueso, J. R. (2024). Créditos de carbono como alternativas para combater o desmatamento na Colômbia. *Veredas do Direito*, 21, e212666.
- Moraes, P. V., & Rossi, P. (2000). Comportamiento ambiental do glifosato. *Scientia Agraria Paranaensis*, 9(3). <https://doi.org/10.18188/sap.v9i3.5258>
- Morales, D., & Beltrán, L. (2022). Impacto socioeconómico-ambiental de la aspersión de glifosato para la erradicación de cultivos de coca. *Boletín El Conuco*, 5(2), 1–12. <https://doi.org/10.22579/2619-614X.1125>; <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/conuco/article/view/1125>;
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2023). *PubChem Compound Summary for CID 3496, Glyphosate*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glyphosate>
- Oliveira, M. F., & Brighenti, A. M. (2020). Comportamento dos herbicidas no ambiente. En Oliveira Jr., Constantin, J., & Inoue, M. H. (Eds.), *Biologia e manejo de plantas daninhas* (pp. 263–304). Omnipax.
- Pereira, M. R. R., Souza, G. S. F., Fonseca, E. D., & Martins, D. (2015). Subdoses de glyphosate no desenvolvimento de espécies arbóreas nativas. *Bioscience Journal*, 31(2), 326–332. <https://doi.org/10.14393/bj-v31n2a2015-21924>
- Piotrowicz-Cieślak, A., Adomas, B., & Michalczyk, D. (2010). Different glyphosate phytotoxicity of seeds and seedlings of selected plant species. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 123–129.
- Romero-Hernández, C. (2018). El género *Zygia* P. Browne (Leguminosae: Mimosoideae: Ingeae) en Colombia: análisis de distribución y clave actualizada para su identificación. *Biota Colombiana*, 18(2), 89–111. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a06>
- Santos, F. A. M. dos, Leles, P. S. dos S., Resende, A. da S., Nascimento, D. F. do, & Santos, G. R. dos. (2020). Estratégias de controle de braquiárias *Urochloa* spp. na formação de povoamento para restauração florestal. *Ciência Florestal*, 30(1), 29–42. <https://doi.org/10.5902/1980509825559>
- Sena, D. V. dos A., et al. (2022). Ponto de maturidade fisiológica de sementes de *Sideroxylon obtusifolium* [(Roem. y Schult.) T. D. Penn.]. *Ciência Florestal*, 32(3), 1106–1124.
- Silva, A. F. M., et al. (2018). Glifosato, isolado ou em associações, no desempenho agrônomo e qualidade de sementes de soja RR® 2. *Arquivos do Instituto Biológico*, 85.

Simões, C. T., et al. (2024). Selectivity of herbicides for seedlings of tree species. *Revista Árvore*, 48, e4816.

SINCHI – Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. (2006). *Caracterización y tipificación de sistemas productivos y su impacto ambiental en el Caquetá*. Bogotá.

Smiderle, O. J., do Nascimento, C. R., Chagas, E. A., Chagas, P. C., & Souza, A. das G. (2021). Effect of packaging and storage conditions on the physiological quality of seeds and seedlings in *Myrciaria dubia*. *Revista de Ciências Agrárias*, 44(2-3), 137-145. <https://doi.org/10.19084/rca.24536>; <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/24536> (versión HTML) revistas.rcaap.pt; PDF en la cab digitalibrary: <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/pdf/10.5555/20220099951> [cabdigitalibrary.org](https://www.cabdigitalibrary.org)

Yamashita, O. M., Betoni, J. R., Guimarães, S. C., & Espinosa, M. M. (2009). Influência do glyphosate e 2,4-D sobre o desenvolvimento inicial de espécies florestais. *Scientia Forestalis*, 37(84), 359-366.



LA GESTIÓN PÚBLICA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: ESTUDIO SOBRE LAS OPINIONES CIUDADANAS EN EL MUNICIPIO DE EZEQUIEL MONTES (MÉXICO)

Public Management in the face of climate change: a study of citizen opinions in the municipality of Ezequiel Montes, Querétaro

A gestão pública diante das mudanças climáticas: estudo sobre as opiniões cidadãos no Município de Ezequiel Montes (México)


Israel Ferruzca Ibarra¹

 <https://orcid.org/0009-0005-1291-4250>

 israferruzca4@gmail.com

Alejandro Flores Silvestre¹

 <https://orcid.org/0009-0006-4753-4773>

 floressale07@gmail.com

María Evelyn Rincón García¹

 <https://orcid.org/0009-0006-6044-0165>

 rincongarciamariaevelyn@gmail.com

María Fernanda Sicilia Martínez¹

 <https://orcid.org/0009-0009-3488-0281>

 mariafernandasiciliamartinez@gmail.com

Citlali Trejo Ángeles¹

 <https://orcid.org/0009-0008-2995-762X>

 trejocitlali73@gmail.com

Hebe Naomi Pérez Rico¹

 <https://orcid.org/0009-0002-9006-2530>

 hebericogarcia@gmail.com

¹Estudiante de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Autónoma de Querétaro

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en el municipio de Ezequiel Montes, Querétaro, con la recolección de datos y se dividió en 3 las tres delegaciones: Villa Progreso, Bernal y la Cabecera de Ezequiel Montes. Objetivo: Analizar la percepción de la población sobre las acciones por el clima en la Gestión Pública de Ezequiel Montes. Método: Se implementaron las metodologías cualitativas de buzón de ideas en la delegación de Villa Progreso y muro de conciencia colectiva en Cabecera Ezequiel Montes con la participación ciudadana total de 155 respuestas. Resultados: Existe un mosaico de preocupaciones y realidades compartidas en torno al cambio climático y sus efectos en las comunidades El

PALABRAS CLAVES:

Gestión Pública,
Gentrificación,
Planificación Territorial
Intersectorial,
Vulnerabilidad.

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 23 de Octubre de 2025 / Fecha Aprobación: 26 de Febrero 2026 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Ferruzca Ibarra, I., Flores Silvestre, A., Rincón García, M. E., Sicilia Martínez, M. F., Trejo Ángeles, C. & Pérez Rico, H. N.(2026). *La gestión pública frente al cambio climático: estudio sobre las opiniones ciudadanas en el Municipio de Ezequiel Montes (México)*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 19-41. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a2>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

cambio climático no se percibe como una prioridad en la gestión pública según las opiniones de las personas consultadas. Discusiones: El cambio climático no se percibe como una prioridad en la gestión pública. Conclusiones: Existe un quiebre ambiental ocasionado por el modelo de desarrollo económico del municipio de Ezequiel Montes..

ABSTRACT

This research was conducted in the municipality of Ezequiel Montes, Querétaro, with data collection carried out across its three delegations: Villa Progreso, Bernal, and the municipal seat of Ezequiel Montes. Objective: To analyze the population's perception of climate-related actions within the public management of Ezequiel Montes. Method: Qualitative methodologies were implemented, using an idea box in the Villa Progreso delegation and a collective consciousness wall in the municipal seat. A total of 155 citizen responses were collected. Results: A mosaic of concerns and shared realities regarding climate change and its effects on the communities was identified. According to the participants, climate change is not perceived as a priority in local public management. Discussion: Climate change is not viewed as a priority within public governance. Conclusion: There is an environmental breakdown caused by the municipality's current model of economic development..

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada no município de Ezequiel Montes, Querétaro, com a coleta de dados efetuada em suas três delegações: Villa Progreso, Bernal e a sede municipal de Ezequiel Montes. Objetivo: Analisar a percepção da população sobre as ações relacionadas ao clima na gestão pública de Ezequiel Montes. Método: Foram implementadas metodologias qualitativas, utilizando uma caixa de ideias na delegação de Villa Progreso e um mural de consciência coletiva na sede municipal. Ao todo, foram coletadas 155 respostas de cidadãos. Resultados: Identificou-se um mosaico de preocupações e realidades compartilhadas sobre as mudanças climáticas e seus efeitos nas comunidades. Segundo os participantes, as mudanças climáticas não são percebidas como uma prioridade na gestão pública local. Discussão: As mudanças climáticas não são vistas como prioridade na governança pública. Conclusão: Há um colapso ambiental causado pelo atual modelo de desenvolvimento econômico do município.

KEYWORDS

Public Management, Gentrification, Intersectoral Territorial Planning, Vulnerability.

PALAVRAS-CHAVE

Gestão Pública, Gentrificação, Planejamento Territorial Intersetorial, Vulnerabilidade.

INTRODUCCIÓN

La gestión pública y el cambio climático están conectados desde diversas perspectivas. En primer lugar, el desarrollo de políticas públicas es fundamental para abordar este problema, y la ciudadanía debe ser partícipe del cambio y de las adaptaciones a nivel territorial (Plata, 2022). En segundo lugar, la gestión pública tiene la misión de implementar estrategias en colaboración con la ciudadanía, basadas en el conocimiento local, para mitigar los problemas fundamentales que el desarrollo económico. Esto requiere una visión eficiente y capaz de escuchar las demandas de la ciudadanía (Moreno et al., 2021).

Esta investigación partió de un supuesto teórico: la opinión que tienen los ciudadanos sobre el papel de la gestión pública en la mitigación del cambio climático y cómo, a través de políticas públicas, se pueden generar estrategias para abordar este problema en las tres delegaciones (Bernal, Ezequiel Montes y Villa Progreso) en el municipio de Ezequiel Montes. Esta pregunta se justifica a partir de las investigaciones de Gómez Villerías et al. (2021) y Moreno et al. (2024), plantean la conexión entre el cambio climático y la gestión pública, y el desarrollo necesarios en términos de campos estratégicos para mitigar el cambio climático desde una perspectiva de ciudadanía y sector productivo.

Además, es importante considerar las observaciones directas en campo y los diálogos preliminares con la ciudadanía, que revelan que el cambio climático es una preocupación que abarca varias esferas inmersas en el territorio del municipio de Ezequiel Montes. Esta investigación aporta una nueva línea estratégica de acción y gestión que sirve como base para estudios de políticas públicas en materia de desarrollo sostenible y ambiente. Además, ofrece una apertura y un marco teórico sobre lo que está sucediendo en una región biogeográfica como el ecosistema semidesértico queretano.

Esta investigación deja un espacio de oportunidad de análisis sobre el rol de la gestión pública, percibida por la ciudadanía, y su desconexión con las delegaciones de Bernal, Ezequiel Montes y Villa Progreso en materia de adaptación al cambio climático. Cada una de estas delegaciones tiene necesidades distintas: en la primera, es imperante conservar las tradiciones locales y disminuir la generación de residuos sólidos que aumentan el cambio climático en la región; en la segunda, la escasez de agua es una prioridad para la ciudadanía; y en la tercera, es crucial reducir los efectos de la ganadería y su expansión. Estos tres elementos se conjugan como factores de causa y efecto para definir cómo la gestión pública puede intervenir en materia de política pública y desarrollar estrategias en un campo donde se integren la sustentabilidad, el ambiente y la política en pro de adaptar el territorio al cambio climático. Esto permitiría desarrollar mecanismos de actuación interinstitucional acompañados por la ciudadanía. Finalmente, el objetivo de esta investigación fue: comparar desde la opinión de la ciudadanía, el rol de la gestión pública en materia de cambio climático, en tres delegaciones del municipio de Ezequiel Montes, Querétaro.

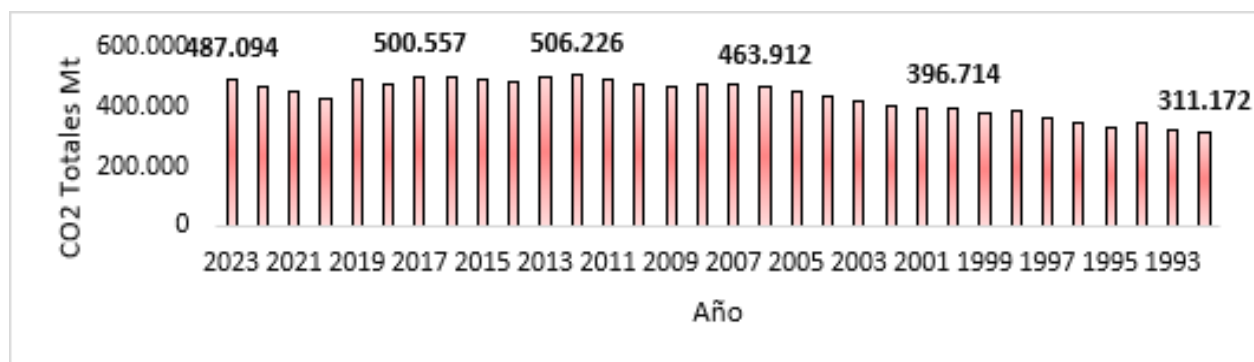
Antecedentes empíricos: visión técnico-económica de la gestión pública y el cambio climático

A nivel económico en México: las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son un indicador importante asociado al cambio climático. Estas emisiones están principalmente vinculadas a la quema de combustibles fósiles y al uso de estos recursos no renovables en diversas industrias (Nunes, 2023).

Por otro lado, el dióxido de carbono por kilogramos por cada \$1000 del Producto Interno Bruto (PIB) es un indicador que mide la intensidad de carbono en la economía. Este indicador refleja cómo la economía está ligada a procesos de intensificación en el uso de carbón y combustibles fósiles. Mientras tanto, las emisiones per cápita de dióxido de carbono muestran cómo los individuos están asociados al problema del cambio climático y las emisiones que pueden producir individualmente (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2024a, 2024b) (**Figura 1 y 2**). Además, se traduce en un índice de desarrollo que muestra cómo los cambios estructurales a nivel económico han favorecido ciertos sectores, como la industria, el transporte y la innovación tecnológica. Estos sectores se han desarrollado mediante políticas públicas que tienen un impacto en el ambiente, especialmente en el aumento del cambio climático (Moreno et al., 2021).

De acuerdo con los estudios de Estrada-Chavira (2022), México es un país que ha mostrado fluctuaciones en las emisiones de dióxido de carbono. Aunque hay una tendencia hacia la industrialización, se siguen generando esfuerzos para minimizar el impacto producido por la quema de combustibles fósiles. Esto también está relacionado con Paliza et al. (2022), el compromiso internacional del país frente a las políticas adoptadas para mejorar el problema del cambio climático y el calentamiento global. Además, refleja el compromiso de México en revertir el uso de combustibles fósiles y descarbonizar la economía, pero aún no es visible.

Figura 1.
Dióxido de Carbono (CO₂) Total de toneladas métricas



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en (DatosMacro, 2023).

Figura 2.
Relación de CO2 t per capita con CO2 Kg/1000\$

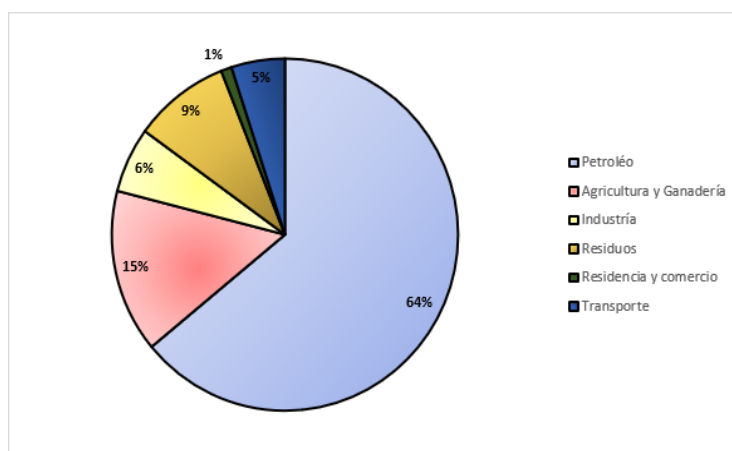


Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en (DatosMacro, 2023).

A pesar de los avances significativos, Mendoza Padilla (2024), concuerda en que México enfrenta el desafío de seguir transitando hacia energías alternativas y procesos industriales menos agresivos con el ambiente, como la ganadería y la agricultura, así como hacia un sistema de transporte más sostenible.

A nivel de los sectores económicos: según la Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2024a), algunos sectores económicos son más propensos a generar un impacto ambiental y a producir emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente de dióxido de carbono, que contribuyen al cambio climático. En particular, el sector petrolero es responsable de aproximadamente el 64% de estas emisiones, dado que la economía mexicana es altamente dependiente del carbono (Figura 3).

Figura 3.
Aporte de emisiones atmosféricas por sectores económicos



Fuente: elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

(2024a)

Le siguen la ganadería y la agricultura, que representan alrededor del 15% de las emisiones. En el norte del país y en algunas zonas del sur, estos sectores son fundamentales para el sustento económico, tanto a escala local como industrial. Además, los residuos sólidos son otro componente importante, representando el 9% de las emisiones. Esto también indica cómo el país está manejando la gestión de residuos sólidos, destacando un manejo ineficiente en algunas zonas de México, especialmente en el sur, en estados como Guerrero, Oaxaca y Chiapas, como bien lo explica García Valerio y Adame Martínez(2025) y Rosa et al., (2023).

De acuerdo con los planteamientos de Gómez Villa (2024), la dependencia de los combustibles fósiles tiene una relación directa con el cambio climático, lo cual representa uno de los retos más significativos que México debe abordar. Es esencial reducir la quema de combustibles fósiles para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, que se traducen en alteraciones atmosféricas. Sin embargo, no se debe pasar por alto que la ganadería y la agricultura, junto con otros procesos de planificación deficientes y desarrollo en ciertas zonas del país, también generan elevadas emisiones (Plata, 2022). Esto está relacionado con el consumo y la escala industrial en la que se desarrollan estas actividades. A nivel local, es crucial analizar esto desde lo municipal y desde las entidades más pequeñas, ya que muchos municipios en México dependen económicamente de estos sectores.

A nivel local: las investigaciones desarrolladas en materia de cambio climático y los problemas socioambientales asociados a las actividades de desarrollo económico son escasas en el municipio de Ezequiel Montes. Sin embargo, se ha venido ampliando la investigación en un contexto geográfico, cultural y biogeográfico más amplio, como es el caso del desierto queretano del cual hace parte el área de estudio. Desde esta perspectiva, los estudios de Pineda et al. (2025), proponen acciones de conservación para reducir y mitigar los efectos del cambio climático, incluyendo al municipio de Ezequiel Montes. Por otra parte, los estudios de Soto (2024), abordan en las inmediaciones del área de estudio de esta investigación, a través de la gestión hídrica como mecanismo de adaptación mediante humedales artificiales. Estos humedales permiten erradicar los problemas de contaminación de aguas residuales y adaptar estas localidades semidesérticas al calentamiento global.

Otra investigación que analiza los riesgos de las sequías ocasionadas a nivel regional por el cambio climático, y su asociación con la industria, es el estudio de Igual (2024). Este estudio ofrece un análisis crítico sobre el tema del agua, el cambio climático y los problemas asociados a las cuencas hídricas, así como su afectación al desarrollo social. No obstante, existen propuestas de visualización sobre la exploración del riesgo de escasez de agua en el semidesierto queretano, como los estudios de Rivera y Ramos (2024), que plantean las posibilidades de escasez y una gestión estratégica desde lo técnico y los procesos públicos, apuntando a la conservación de la biodiversidad y la sustentabilidad territorial.

Los estudios de Feregrino (2025), establecen la posibilidad de procesos participativos locales, especialmente desde la juventud, para abordar los problemas ambientales. Esto está muy relacionado con las investigaciones de Reséndiz-Martínez et al. (2025), quien también plantea que en esta zona semidesértica es necesario apuntar a un desarrollo local e integrar a las empresas en la sustentabilidad ambiental y la conservación del semidesierto. Estas investigaciones abren un nicho y un precedente para seguir explorando las oportunidades que existen y que se pueden investigar a escala local sobre los problemas del cambio climático y cómo esta afectación a nivel global termina impactando a las comunidades, algo explicado por Azueta y Ortiz (2024).

Aportes teóricos de otros estudios en materia de cambio climático

De acuerdo con los estudios de Cid y Lerner (2023), las instituciones mexicanas, a través de la federación y los estados, han desarrollado medidas proactivas para mitigar el cambio climático. Estas instituciones y el establecimiento público han tenido que generar inversión social y económica para transformar los problemas derivados de la economía en acciones concretas. El objetivo es minimizar el impacto ambiental y consolidar estas acciones en materia de cambio climático.

Esto está relacionado con industrias como la ganadera, agrícola, forestal, minera y de transporte, así como con la quema de carbón. Por lo tanto, como lo plantea Buirá et al. (2021), el país está atravesando por un proceso de descarbonización. Sin embargo, existen limitaciones, ya que reemplazar los combustibles fósiles es un desafío, pues en términos políticos y macroeconómicos tiene impactos significativos. Esto se relaciona con las divisas que representan en términos económicos, ya que retirar estos factores que dañan el ambiente podría aumentar el calentamiento global. Bien explica Carrión y Cisneros (2023), esto también tiene que ver con la voluntad política y cómo la gestión y la administración pública, desde las diversas escalas, están generando acciones de mitigación.

METODOLOGÍA

Tipo y enfoque de investigación: la presente investigación se inscribe en una lógica cualitativa y participativa, cuyo propósito no es únicamente describir una realidad, sino contribuir a su transformación desde una mirada crítica y situada. En este sentido, se optó por emplear a Fals Borda (1999), con el enfoque metodológico basado en la Investigación Acción Participativa (IAP), entendida como un proceso dialógico que combina el análisis social con la intervención comunitaria. En este enfoque, los actores locales no son objetos de estudio, sino sujetos activos en la construcción del conocimiento como sucedió en la investigación de Arrieta-Robles et al. (2025).

Zona de estudio: tras una revisión bibliográfica, se identificó que el problema del cambio climático y su relación con la gestión pública no había sido desarrollado en el municipio de Ezequiel Montes. Además, este municipio, ubicado en el semidesierto queretano, tampoco ha sido objeto de una investigación profunda sobre la relación económica, productiva,

social y ecosistémica, pero existen precedente teóricos (Soto, 2024; Feregrino, 2025; Reséndiz-Martínez et al., 2025). Por lo tanto, se escogió esta zona por su pertinencia y la posibilidad de abrir líneas de investigación y un nicho académico para profundizar en los efectos del cambio climático en el desierto queretano y las localidades que lo habitan, con un sistema productivo consolidado.

Las tres comunidades seleccionadas son las delegaciones que posee el municipio de Ezequiel Montes. Primero, se escogió la cabecera municipal, que lleva el nombre homónimo del municipio, porque es allí donde se ejerce el poder y se toman las decisiones. Segundo, se eligió la delegación de Bernal por su importancia económica, ya que es un Pueblo Mágico (Torres González, et al., 2024) y estratégico en el desarrollo económico del municipio. Finalmente, se seleccionó la delegación de Villa Progreso por su sistema productivo ganadero.

Acercamiento y exploración: antes de aplicar e ir a campo a realizar el “muro de la conciencia colectiva” y el “buzón de ideas”, fue necesario un acercamiento inicial con funcionarios públicos. Para esta ocasión, la apertura se realizó con un funcionario del ayuntamiento del municipio de Ezequiel Montes, con una funcionaria de la delegación de Villa Progreso y delegación de Bernal. Con el aval del programa de Gestión Pública y Gobierno de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Cadereyta de Montes, se inició la etapa exploratoria, buscando establecer conexiones para que las actividades se pudieran desarrollar de manera satisfactoria.

Las opiniones de los participantes: se obtuvieron a través del “buzón de ideas” y el “muro de conciencia colectiva”, lo cual sirvió para comprender y responder a la pregunta de investigación, así como para profundizar en el objeto de estudio. Estas opiniones fueron recopiladas de un total de 155 personas (Tabla 1), se determinó que este número era importante, porque se encontró con la información obtenida el nivel de saturación. La participación se distribuyó de la siguiente forma: femenino con 64,51 % y masculino con una participación del 35,4 %.

Tabla 1.

Aspectos demográficos de los participantes:

Género	Delegación Ezequiel Montes	Delegación Bernal	Delegación Villa Progreso
Actividad participativa	Buzón de ideas	Muro de conciencia colectiva	Buzón de ideas
Masculino	20 (33,3 %)	10 (22,2 %)	25 (50 %)
Femenino	40 (66,6 %)	35 (77,7 %)	25 (50 %)
Totales	60 (100 %)	45 (100 %)	50 (100 %)

Fuente: elaboración propia

Plausibilidad y verosimilitud: la información se desarrolló a través de tres visitas de campo. Se buscaba que hubiera puntos de intersección en las opiniones, coherencia y congruencia entre los participantes de las diversas comunidades, lo que permitió triangular la información. Además, esto se validó mediante la observación directa en campo.

Las técnicas utilizadas en esta investigación fueron dos: el buzón de ideas y el muro de conciencia colectiva. Ambas herramientas se aplicaron en tres espacios estratégicos del municipio: la cabecera municipal, Villa Progreso y Bernal. La selección de estos lugares respondió a criterios de diversidad territorial, socioeconómica y productiva, lo que permitió obtener una visión integral de las percepciones ciudadanas.

- ✓ *El buzón de ideas:* esta técnica consistió en invitar a las personas a escribir de manera anónima sus opiniones, propuestas o experiencias respecto al impacto del cambio climático en su comunidad. El ejercicio se llevó a cabo en espacios públicos, como plazas o calles de alto tránsito, asegurando siempre el respeto, la inclusión y la participación voluntaria (Catalán 2022).
- ✓ *El muro de conciencia colectiva:* implementado especialmente en Villa Progreso, este método buscó representar gráficamente, mediante palabras y frases clave, cómo los habitantes comprenden el cambio climático y sus efectos. Esta técnica permitió identificar imaginarios colectivos, emociones y propuestas con un fuerte arraigo territorial (Gómez Barros 2022).
- ✓ *Matrices de diferenciación:* se usaron dos matrices diseñadas para la investigación que permitieron realizar la comparación entre las opiniones a nivel de las categorías de análisis opiniones ciudadana de la gestión pública y del cambio climático. Esto con el fin de triangular la información.
- ✓ *Las preguntas detonadoras:* ¿cuáles es su percepción de la gestión pública frente al cambio climático? ¿Qué se debe hacer para adaptar el semidesierto queretano al cambio climático? ¿Quién debe presentar las acciones para que la gestión pública actúe ante el cambio climático?, y ¿cual es su rol como ciudadano en materia del cuidado ambiental y los efectos del cambio climático?
- ✓ *Aspectos éticos:* dado que se partió de un ejercicio académico, la investigación no pasó por un comité de ética. Sin embargo, en la inmersión en campo se pidió el permiso a las autoridades locales y los ciudadanos para tomar fotos. Asimismo, se explicó, la importancia de la participación anónima.

Análisis de la información: se realizó un análisis de contenido con la información obtenida en campo, para este caso fue por medio de un proceso de codificación manual sistematizada, de forma tradicional a través de las lecturas reflexivas se identificó el contenido de la información (Krippendorff, 2018). Posteriormente, se construyeron dos categorías de análisis de forma inductiva. La primera categoría fue: "opiniones ciudadanas sobre el cambio climático", la cual plantea los retos y oportunidades en materia local y del modelo de desarrollo. La segunda categoría fue: "opiniones ciudadanas sobre la gestión pública", que muestra un avance sobre las oportunidades que tiene la administración pública en materia de adaptación al cambio climático en el municipio de Ezequiel Montes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación comparó las diversas opiniones de los participantes ciudadanos del municipio de Ezequiel Montes, en sus tres delegaciones. Por medio de un proceso participativo (Figura 4), se logró recolectar la información que dio pie a la teorización del papel de la gestión pública en los problemas que originan el cambio climático. El cual derivó en un supuesto teórico, la responsabilidad compartida del motor económico, el poder y la ciudadanía, en la necesidad de adaptar al municipio a dicho problema global.

Figura 4.

Participación de la ciudadanía en las delegaciones de Ezequiel Montes y Villa Progreso



Fuente: elaboración propia. El segmento de la derecha de la figura fue la participación de los ciudadanos en la con la actividad buzón de ideas en la delegación de Villa Progreso y el de la izquierda fue en Ezequiel Montes, con la actividad de muro de conciencia colectiva.

Panorámica de las percepciones ciudadanas en las comunidades de estudio

El acercamiento a la ciudadanía de Ezequiel Montes reveló un mosaico de preocupaciones y realidades compartidas en torno al cambio climático y sus efectos en las comunidades de la cabecera municipal, Villa Progreso y Bernal. Aunque cada zona presenta sus particularidades, todas comparten una profunda preocupación por el problema ambiental, manifestada a través de demandas y propuestas arraigadas en sus contextos específicos.

En la cabecera municipal, es decir Ezequiel Montes: la escasez de agua potable y la contaminación de la calidad del aire son problemas percibidos por los participantes que reflejan una sensación de abandono institucional. Los adultos mayores expresan su frustración con frases como “cada vez el agua llega menos, y siempre es para los mismos”, destacando una distribución desigual de los recursos. Esta problemática se agrava con el crecimiento descontrolado de las zonas ganaderas y la falta de sanciones para quienes contaminan el agua. La percepción de los participantes sobre gestión pública “reactiva, negligente e insensible” genera una sensación de impotencia colectiva, alineándose sumado la falta de operatividad institucional y la debilidad normativa en la gobernanza ambiental en la zona de estudio. Los jóvenes, por su parte, muestran una

postura crítica e informada, señalando que los residuos ganaderos no solo contaminan el ambiente, aumentan el problema del cambio climático y los gases efecto invernadero, sino que también afectan la salud humana, como en el caso de una participante cuya hermana sufre crisis de asma debido a la contaminación.

En Villa Progreso: en esta comunidad la percepción giró desde una mirada a la contaminación provocada por la actividad ganadera y su relación con el cambio climático, dominó las preocupaciones ciudadanas. La acumulación de estiércol, la proliferación de plagas, el mal olor y el polvo en suspensión afectan gravemente la calidad de vida, promueven el calentamiento global, agravándose durante las temporadas secas y generando enfermedades respiratorias e infecciones en la piel, así lo expresaron los participantes, donde encuentran una relación directa entre cambio climático y ganadería. La comunidad denuncia de los participantes sobre un uso intensivo e ineficiente del agua por parte de los ranchos ganaderos, argumentado que estamos ante una crisis global como es la escasez de agua ocasionada por el cambio climático y la ubicación de la zona en el ecosistema semiárido queretano, fue percibido como una injusticia social que prioriza en sectores económicos, sobre las necesidades de las familias, que reciben agua solo tres veces por semana y por pocas horas. Esta desigualdad refleja un modelo de desarrollo que privilegia a sectores dominantes a costa de los bienes comunes. Los jóvenes de Villa Progreso destacan por su comprensión de los dilemas éticos de la sustentabilidad, reconociendo la tensión entre la necesidad de empleo y el deseo de un entorno sano, lo que subraya la necesidad de políticas integrales de reconversión productiva.

En Bernal: las preocupaciones ambientales también están presentes, posiblemente con matices únicos que reflejan su contexto socioeconómico y territorial. La interacción entre estas comunidades revela un panorama complejo de desafíos ambientales y sociales, donde las voces de los participantes claman por soluciones integrales y sustentable que consideren tanto las necesidades inmediatas como las aspiraciones a largo plazo de un entorno donde la dinámica economía y los recursos naturales se mantengan estables.

Categoría de análisis sobre opiniones del cambio climático: esta categoría inductiva exploró los problemas que se perciben producto del cambio climático en las tres delegaciones de estudio; las herramientas que los ciudadanos proponen.

Problemas de la cabecera municipal (Ezequiel Montes)

El análisis producto de la información brindada por los ciudadanos que participaron en Ezequiel Montes, denotaron que el mayor problema tiene que ver especialmente con el agua, están bajo una creciente presión debido tanto al cambio climático como a prácticas productivas insostenibles desarrolladas por el sector agropecuario. Factores como sequías prolongadas, crecimiento poblacional, turismo y ganadería intensiva han generado un entorno de estrés hídrico estructural, afectando directamente la vida cotidiana de la población.

En la cabecera municipal, los tandeos de agua, que consisten en suministros controlados y esporádicos, son comunes. Esta situación se agrava durante los meses más cálidos,

generando no solo incomodidad, también condiciones sanitarias precarias. Las familias enfrentan dificultades para almacenar agua limpia, cocinar, asearse y mantener la higiene básica en escuelas y centros comunitarios.

El cambio de uso del suelo es otra preocupación significativa para los participantes. La sobreexplotación de áreas agrícolas y ganaderas, sin rotación de cultivos ni recuperación de nutrientes del recurso edáfico, ha reducido la productividad local y ha generado procesos de erosión del suelo.

En cuanto a la calidad del aire, el polvo generado por los corrales de producción de pollo, las heces animales y las quemas de residuos sólidos a cielo abierto crean un ambiente insalubre. Este escenario de acuerdo con Nieves-Guerrero et al. (2025) y los participantes, es descrita como, contaminación en la zona rural que representa una amenaza creciente para la salud pública, especialmente para grupos vulnerables como niños y personas mayores.

Ante este panorama, los ciudadanos participantes han propuesto acciones concretas, como la construcción de plantas tratadoras de agua, el uso de biodigestores, la reubicación de ranchos fuera de zonas habitadas y campañas de separación y tratamiento de residuos. También se sugiere establecer normativas municipales que exijan tecnologías limpias, sanciones efectivas y monitoreo ciudadano para garantizar un manejo sostenible de los recursos naturales.

Las preocupaciones en la comunidad de Villa Progreso

Los participantes, en la comunidad de Villa Progreso, percibieron lo siguiente: El cambio climático no solo afecta el ambiente físico y la economía productiva, sino que también impacta el tejido social y cultural de las comunidades. En Villa Progreso, los efectos ambientales han llevado a una creciente fragmentación comunitaria, pérdida de prácticas tradicionales y desplazamientos poblacionales que transforman la identidad local.

Con los jóvenes que se diálogo, ellos manifestaron, las consecuencias más relevantes es la migración juvenil hacia zonas urbanas, impulsada por la falta de oportunidades económicas sostenibles. Jóvenes entrevistados en Villa Progreso y la cabecera municipal expresaron que “el campo ya no da” y que “la única opción es irse a Querétaro o a Estados Unidos a buscar trabajo”. Esta dinámica no solo vacía demográficamente las comunidades, sino que también contribuye al envejecimiento poblacional y a la pérdida de conocimientos agroecológicos transmitidos entre generaciones.

Esta realidad puede entenderse a través del concepto de vulnerabilidad estructural, que combina factores económicos, ecológicos e institucionales para explicar por qué ciertos grupos tienen menos capacidad de adaptación. El impacto ambiental no solo destruye ecosistemas, sino también relaciones sociales de reciprocidad, afectando el sentido de comunidad. Los participantes también coinciden con los problemas de la región, se señalaron que la ganadería intensiva contribuye a la escasez de agua, la contaminación

del aire, la el cambio del suelo.

Contexto ambiental en la delegación de Bernal

En la comunidad de Bernal presenta un contexto distinto debido a su naturaleza turística. Aunque los problemas ambientales pueden parecer menos evidentes en la vida cotidiana, no están ausentes. Varios residentes que participaron en la investigación, señalaron que el suministro de agua es más estable gracias a las inversiones dirigidas al turismo, aunque también reconocieron un uso excesivo en hoteles, restaurantes y zonas comerciales.

Una de las preocupaciones más destacadas es el proceso de gentrificación, que implica una transformación urbana impulsada por capital externo, desplazando gradualmente a los residentes tradicionales. Los entrevistados mencionaron que la presencia de empresarios foráneos ha incrementado el costo de los servicios, marginando a artesanos, vendedores locales y campesinos. Este fenómeno ha sido descrito como una forma en que el desarrollo puede profundizar las desigualdades estructurales dentro de los territorios. Además, algunos residentes participantes de la comunidad de Bernal, expresaron su descontento por la contaminación que “llega desde afuera”, refiriéndose a los desechos y olores provenientes de ranchos en comunidades vecinas. A diferencia de Villa Progreso, en Bernal no se practica la ganadería intensiva, por lo que la percepción de los problemas ambientales se centra más en las “externalidades negativas”.

Otro aspecto señalado por los participantes de la comunidad es la pérdida de festividades tradicionales ligadas al calendario agrícola y la transformación de prácticas comunitarias, como los tequios o faenas. Estas actividades colectivas, que servían para limpiar canales, sembrar árboles o reparar caminos, han disminuido ante la imposición de una lógica individualista y de mercado. Los participantes sostienen que la crisis ambiental también es una crisis cultural, ya que rompe los vínculos simbólicos que unen a las personas con su territorio. En Bernal, por ejemplo, los entrevistados indicaron que las nuevas generaciones están más enfocadas en el turismo y el consumo, y menos en conservar prácticas antiguas como el trueque, la herbolaria o la agricultura familiar.

A pesar de este contexto, la ciudadanía ha comenzado a proponer alternativas de gobernanza más participativas y corresponsables. En Bernal, se ha sugerido la creación de comités comunitarios para la gestión del agua, integrados por habitantes, prestadores de servicios turísticos y representantes del municipio. Estas ideas que los participantes expresaron, coinciden con las propuestas basadas en el desarrollo alternativo, donde las comunidades organizadas con reglas claras, monitoreo social y mecanismos de resolución de conflictos pueden gestionar sosteniblemente sus recursos sin depender exclusivamente del Estado. Asimismo, se subraya la necesidad de fortalecer el capital social local, entendido como la red de relaciones que posibilita la acción colectiva.

Críticas al modelo de desarrollo del municipio de Ezequiel Montes

Escepticismo: los ciudadanos que opinaron manifestaron escepticismo hacia la capacidad

y voluntad del gobierno municipal para resolver los problemas ecológicos. Incluso quienes participaron activamente en las actividades de buzón y conciencia colectiva declararon que “no sirve de nada decir lo que pensamos, porque nunca nos escuchan”. Esta afirmación pone en evidencia una desconexión crítica entre ciudadanía y gobierno. La necesidad de sentar una voz en medio de unos procesos de cambio político y la construcción de escenarios de ciudadanía que puedan romper el *statu quo*, de una clase dirigente asociada a la priorización de un modelo económico.

Dicha postura de los participantes, fue explicada que el escepticismo se ha originado debido a la hegemonía que no se mantiene solo por la coerción, sino por la construcción de un consenso aparente, en el que los intereses de una clase se presentan como los de toda la sociedad, y esto se respalda en el acto democrático. En las delegaciones de Bernal, Ezequiel Montes y Villa Progreso, este fenómeno se expresa cuando el discurso oficial promueve el “desarrollo económico” a través de la ganadería, sin considerar los daños colaterales ni consultar a la comunidad.

Tensión en la gobernanza ambiental: el caso de Ezequiel Montes, participantes hablaron sobre la evidente y profunda desarticulación entre las problemáticas ambientales que vive la población y la respuesta institucional desde el municipio. La percepción ciudadana recogida en las tres localidades investigadas: existe una ausencia de políticas ambientales integrales, falta de voluntad política para intervenir en sectores privilegiados como la ganadería y un desconocimiento generalizado sobre las funciones del gobierno local en materia de sustentabilidad.

La falta del área especializada: no existe un área especializada en sustentabilidad dentro del gobierno municipal, ni personal técnico suficiente para llevar a cabo inspecciones, monitoreo o capacitaciones. Esto impide que las normativas se traduzcan en acciones concretas y favorece un entorno de impunidad ambiental.

Estrategias desde el conocimiento de los participantes

A lo largo de la investigación, los participantes de las Tres delegaciones del municipio de Ezequiel Montes no solo expresaron quejas, también formularon propuestas concretas y viables para enfrentar los problemas ambientales, sociales y territoriales desde la gestión pública local. Estas propuestas evidencian una apropiación crítica del territorio y un nivel de compromiso con la sustentabilidad.

La reconversión del modelo ganadero: es un desafío complejo pero ineludible. Es importante diseñar estrategias, que conduzcan a la transición hacia sistemas más sostenibles implica reducir el número de animales por hectárea, usar forraje local, captar agua de lluvia y convertir los residuos en abono mediante biodigestores.

Además, varios ciudadanos señalaron la necesidad de programas de educación ambiental dirigidos específicamente a los productores. Estas capacitaciones deben enfocarse en eficiencia hídrica, salud animal, control de olores y técnicas de compostaje. Como

mencionó una mujer en Villa Progreso: “Si supieran cómo hacerlo diferente, muchos sí le entrarían, pero nadie les enseña.”

La viabilidad de esta transición también depende de la voluntad política del municipio para generar condiciones adecuadas: asistencia técnica, financiamiento, regulación y monitoreo. Sin ese respaldo, la reconversión difícilmente se sostendrá, y se corre el riesgo de que los costos de la adaptación climática recaigan, una vez más, en los sectores más vulnerables.

Educación Ambiental Comunitaria: una de las demandas más reiteradas fue la necesidad de educación ambiental para toda la comunidad, especialmente para productores agropecuarios. Los habitantes proponen talleres, campañas informativas y programas escolares que enseñen sobre cambio climático, manejo de residuos, ahorro de agua y prácticas sostenibles.

El ciclo de políticas públicas basado en la sustentabilidad: la ciudadanía exige normativas ambientales claras, justas y aplicables, que regulen el uso del agua, el tratamiento de residuos ganaderos y la reubicación de instalaciones contaminantes. Al mismo tiempo, proponen la implementación de incentivos económicos para quienes adopten tecnologías limpias, reduzcan su huella ecológica o participen en procesos de reforestación. Esta combinación de regulación e incentivos coincide con los enfoques contemporáneos de política ambiental participativa.

categoría de análisis: opinión ciudadana sobre el papel de la gestión pública

Según los participantes, el problema del cambio climático en el municipio de Ezequiel Montes revela que está al sector agropecuario, la deficiente gestión de residuos sólidos y la falta de política públicas que regulen a las empresas. Los participantes consideraron que este fenómeno no es solo una amenaza ambiental, sino una crisis multisistémica que afecta la economía, la salud, la cultura y la gobernabilidad local. Lejos de ser un problema distante, o exclusivo del municipio sus efectos ya están presentes en la vida cotidiana de las comunidades rurales y semiurbanas.

La investigación se aproximó a la opinión ciudadana para entender qué piensan sobre el rol de la gestión pública, destacando que la población posee un conocimiento situado, crítico y profundo sobre el rol de la gestión pública y el territorio; los participantes expresaron, que el papel de las instituciones tiene que ser la mitigación del riesgo y la vulnerabilidad que las participantes sienten en quedarse sin una gota de agua. Según los participantes, este conocimiento ha sido históricamente invisibilizado por las instituciones, que operan bajo lógicas verticales, reactivas, politizadas y fragmentadas.

La respuesta al cambio climático desde la gestión pública no puede limitarse a la administración de recursos o a la aplicación de programas aislados. Requiere una reforma estructural de los marcos institucionales, una planificación estratégica con visión de largo plazo y, sobre todo, una alianza genuina con las comunidades.

El municipio de Ezequiel Montes tiene el potencial de convertirse en un ejemplo de gobernanza ambiental participativa. Para ello, necesita canalizar los liderazgos existentes en las comunidades hacia una gestión pública que sea democrática, sustentable y consciente del contexto climático. Esto implica formar funcionarios capacitados, facilitar el acceso a recursos técnicos y financieros, y construir pactos locales por la sustentabilidad.

Comparaciones en las áreas de estudio

En materia del problema del cambio climático: en cuanto al problema del cambio climático, desde la perspectiva de los participantes de tres delegaciones, se identifica que es un problema variable según cada comunidad (Tabla 2). El cambio climático está ligado a procesos económicos que conducen a desafíos sociales. En las tres delegaciones, hay diferentes representaciones del problema en cuanto a cómo se concibe desde diversas dimensiones, es decir, lo político, económico y social. A través de esta visión, se plantearon estrategias desde la perspectiva de los participantes, que aluden a la sustentabilidad enfocada en el motor económico de cada delegación.

Tabla 2.

Matriz de diferencias de opiniones en materia del cambio climático en las delegaciones de estudio.

Aspecto	Cabecera municipal (Ezequiel Montes)	Villa Progreso	Bernal
Problemas ambientales	Escasez de agua	Contaminación por la ganadería	Gentrificación Generación de residuos sólidos por el turismo
Opinión ciudadana	Abandono institucional	Migración de la juventud	Pérdida de tradiciones
Concepción climática	Sequía y agotamiento del agua	Pérdida de suelo fértil	Transformación urbana
Propuestas ciudadanas	plantas de abastecimiento de agua Uso de energía alternativa	Educación ambiental Reconversión del sistema productivo	Comités comunitarios para la defensa del agua y la gentrificación
Retos sociales	Pérdida de los conocimientos agroecológicos	Oportunidades para la juventud	Marginación y altos costos de vida por el modelo turístico
Gobernanza	Falta de aplicación de políticas públicas ambientales	Regulación ambiental del sistema productivo	Desarticulación de la atención de los problemas ambientales entre la responsabilidad ciudadana y el ayuntamiento

Fuente: elaboración propia con información obtenida de los diálogos con los participantes

En materia del problema de gestión pública: en materia de gestión pública y su relación con el cambio climático, las tres delegaciones enfrentan la necesidad tangible de comenzar

a desarrollar políticas públicas y adaptar el modelo económico. Esto implica equilibrar la productividad en el uso de los recursos naturales, garantizando la sustentabilidad y mitigando el cambio climático en el municipio. Sin embargo, a nivel de gestión pública, cada localidad tiene una percepción distinta del problema y de las prioridades.

Esto se refleja en que, en una de las delegaciones, la prioridad es el contexto económico, como ocurre en Ezequiel Montes. En Villa Progreso, la prioridad es el contexto social asociado al cambio climático, mientras que, en Bernal, es el contexto cultural (Figura 3). Estas visiones, aunque distintas, no son distantes entre sí; más bien, representan un llamado a la conjugación de estrategias. La política y la gestión pública deben estar en comunión con las necesidades locales, considerando los diversos contextos que aparecen en el nivel territorial.

Tabla 3.

Matriz de diferencias de opiniones en materia de gestión pública en las delegaciones de estudio.

Aspecto	Cabecera municipal (Ezequiel Montes)	Villa Progreso	Bernal
Problemas principales	Distribución desigual de los recursos naturales	Falta de regulación del sector ganadero	Carencia de política pública para conservar las tradiciones
Opinión ciudadana	Gestión pública ineficiente	Desempleo y ambiente sano	Gestión pública que promueve la identidad cultural
Reflexiones al modelo económico y de desarrollo	No existe confianza en la capacidad del gobierno para conciliar los problemas ocasionados por el cambio climático y el modelo económico	Falta de voluntad política y trabajo con diversos actores locales	El gobierno no tiene estrategias de adaptación al cambio climático
Propuestas ciudadanas	Participación ciudadana y política pública para adaptar el municipio al cambio climático	Protección a los ecosistemas y reducción de la ganadería para frenar el cambio climático	Turismo sustentable, teniendo en cuenta los problemas del cambio climático

Fuente: elaboración propia con información obtenida de los diálogos con los participantes

Aunque las delegaciones forman una unidad territorial, esto no significa que las necesidades sean iguales en todas. Sin embargo, existen intersecciones que permiten trabajar desde la intersectorialidad, involucrando a diversos actores y promoviendo una política pública integradora. En las tres comunidades, también se hace un llamado a la participación efectiva de la ciudadanía para adaptar estas necesidades, encontrar soluciones y obtener respuestas tangibles y medibles en el tiempo.

Las generalidades de las opiniones en las áreas de estudio, muestran que investigaciones como las de Gómez Villerías et al. (2021), han comparado, a nivel comunitario, los problemas ocasionados por el cambio climático. Los factores contemplados en estos estudios, al

igual que en el presente, incluyen la ganadería y sus efectos sobre la distribución del agua. Desde otra perspectiva, Castaño et al. (2025), comparó las opiniones ciudadanas sobre la gestión pública ambiental y el abordaje del cambio climático dentro de la política pública. Este análisis reveló la responsabilidad del Estado, los gobiernos y la ciudadanía, lo cual fue crucial en este estudio para comprender la articulación y conexión del problema del cambio climático con la administración pública en el municipio de Ezequiel Montes.

En esta investigación, como se observa en Gómez Villerías et al. (2021), el cambio climático no se percibe como una prioridad en la gestión pública según las opiniones de las personas consultadas. Aquí radica la pertinencia de abordar los problemas ocasionados por el cambio climático en términos territoriales, lo que implica un proceso de planificación intersectorial y la participación de actores locales.

Las opiniones expresadas por los participantes, fueron difiere con a las percepciones de Reséndiz-Martínez et al. (2025), aunque se observaron diferencias sustanciales entre las comunidades. En Ezequiel Montes, la principal preocupación es la escasez de agua. En Bernal, se destaca la pérdida de tradiciones debido a un turismo que altera las condiciones territoriales y contribuye al cambio climático. Mientras tanto, en Villa Progreso, existe la necesidad de analizar el avance de la ganadería y su impacto significativo en el cambio climático.

Estas posiciones, que a su vez presentan diferencias, complementan el objeto de estudio y se explican a través de las representaciones sociales de Vilchis Pérez et al. (2021). Estas representaciones muestran cómo se concibe el cambio climático en constante interacción con los modelos de desarrollo. En este estudio, a pesar de las diferencias, se identificó una tendencia hacia la corresponsabilidad entre la ciudadanía, el motor económico del municipio, el establecimiento y la administración pública. Sin embargo, existe una carencia de sinergia y una permisividad del poder que dificultan la acción coordinada. Crítica al modelo de desarrollo, según lo planteado por Moreno et al. (2024), los modelos de desarrollo actuales implican cambios territoriales que frecuentemente ignoran las particularidades de la sociedad. Esta perspectiva teórica sirve como base para el presente estudio. Las opiniones de los participantes en las tres delegaciones del área de estudio revelan que el modelo de desarrollo debe adoptar soluciones activas, es decir, acciones y respuestas orientadas a superar los problemas socioambientales y abordar las causas subyacentes del cambio climático.

En términos de Garibaldi Trejo et al. (2024), el empoderamiento de la ciudadanía en la toma de decisiones se presenta como una forma de oposición al modelo de desarrollo actual. Sin embargo, en esta investigación, aunque las opiniones no están completamente consolidadas, se acercan a la identificación de dos modelos económicos predominantes que fragmentan el ambiente y contribuyen al cambio climático: la ganadería y el turismo. Las estrategias desde el conocimiento local, las estrategias identificadas en esta investigación también están presentes en los trabajos de Arrieta-Robles et al. (2025), donde se parte de una concepción territorial y de desarrollo local. Estas estrategias están alineadas con las necesidades y sentires de la ciudadanía, utilizando la participación

local como un instrumento clave para comprender e influir en la administración pública en términos del cambio climático. Las estrategias de gestión de residuos sólidos, saneamiento de aguas residuales, garantía de acceso a agua potable, y control y regulación de empresas contaminantes, son preocupaciones recurrentes en los estudios de Vilchis-Pérez et al. (2025). Al igual que en esta investigación, surgen críticas al modelo de desarrollo económico actual. Las estrategias propuestas se recogen como formas de análisis y representación de soluciones frente a los problemas que favorecen el cambio climático, presentando una oportunidad para adaptar políticas en esta materia.

Opiniones de la ciudadanía sobre el papel de la gestión pública, tanto en la investigación de Melgar (2024), como en la presente, la opinión ciudadana se convierte en una voz de denuncia, destacando la necesidad de preparar al municipio para enfrentar los desafíos del cambio climático. Esta voz ciudadana de los participantes no solo señala qué aspectos deben abordarse, sino cómo hacerlo, identificando los sectores que deben comprometerse en la generación de políticas públicas efectivas. En términos de Melgar et al. (2022), la opinión ciudadana emerge como un mecanismo de ruptura, denuncia y agenciamiento de soluciones frente a los problemas socioambientales. Los hallazgos de la presente investigación corroboran esta tendenciaya que existe un conocimiento local profundo sobre el territorio por parte de los participantes. Este saber promueve soluciones que buscan armonizar lo económico, lo social y lo ambiental; donde la administración y gestión pública tiene que jugar un papel de integración.

Sin embargo, la participación femenina fue del 64 %, lo cual se relaciona con su vínculo directo con las actividades cotidianas, ya que conocen con mayor precisión el comportamiento de los servicios básicos. Además, se identificó que en el municipio de Ezequiel Montes son mayoritariamente las mujeres quienes salen del hogar para realizar actividades como acudir al mercado, lo que les permite conocer y comprender mejor las dinámicas urbanas y sociales de la ciudad. Esto se valida con la información de Bardales (2023).

CONCLUSIONES

La investigación reveló que, según los participantes, existe una oportunidad de diseñar estrategias para adaptar el municipio al cambio climático ocasionado por el modelo de desarrollo económico. Este modelo prioriza los intereses económicos y empresariales, generando desigualdades y sin satisfacer necesidades básicas como el acceso al agua potable, la gestión de residuos sólidos, la calidad del aire y una planificación territorial intersectorial. En términos de los participantes, el modelo no actúa en beneficio del bienestar social y ambiental.

Además, se percibe una profunda desconexión entre el gobierno y las necesidades ciudadanas, caracterizada por un escepticismo hacia la capacidad y voluntad del gobierno para implementar acciones efectivas contra el cambio climático. Esto se debe a intereses políticos y a la falta de atención a las demandas de las comunidades estudiadas.

El cambio climático ha expuesto problemas socioambientales como la escasez de agua en las comunidades, que los participantes manifiestan la necesidad del recurso hídrico, empleo y un ambiente sano. Es crucial regular los procesos de extracción derivados de la ganadería y la agricultura en el municipio. Además, se observa una pérdida de costumbres y cultura debido a un turismo, que genera residuos sólidos, cambios en el uso del suelo y una pérdida sistemática de recursos naturales. En Bernal, la gentrificación debilita las tradiciones culturales y contribuye al cambio climático.

La complejidad de los problemas socioambientales en el municipio de Ezequiel Montes, según la percepción de los participantes, requiere un enfoque intersectorial. Desde la perspectiva ciudadana, la gestión pública puede transformarse mediante la participación local, convirtiendo los problemas en oportunidades para alcanzar la sustentabilidad y reducir los impactos ambientales que generan el cambio climático. Este enfoque es visto como un tema de corresponsabilidad por las personas involucradas.

Se recomienda fortalecer la gobernanza para desarrollar procesos comunitarios y mejorar la capacidad de toma de decisiones. Esto implica implementar políticas públicas horizontales, desarrolladas desde dentro de las comunidades, basadas en su experiencia con el cambio climático. Además, es crucial investigar sobre educación y participación local para vincular estos aspectos con programas sociales que garanticen la sustentabilidad y reduzcan los problemas asociados al cambio climático.

Una limitación de esta investigación es la representación limitada de voces y opiniones. Aunque las aportaciones fueron valiosas, una mayor diversidad de participantes habría permitido una comprensión más profunda y compleja del objeto de estudio.

REFERENCIAS

- Arrieta-Robles, N. G., Arellano-Wences, H. J., Reyes-Umaña, M., Rodríguez-Alviso, C., Barragán-Bautista, E., y González-González, J. (2025). Cobertura de mangle en la laguna de Coyuca, México: Propuesta de actualización desde la perspectiva local. *Revista Científica del Amazonas*, 8(15), Article 15. <https://doi.org/10.34069/RA/2025.15.01>
- Azueta, C. A. O., y Ortiz, J. G. N. (2024). Panorama sobre la movilidad humana y cambio climático en los países del Norte de Centroamérica. *Acciones internacionales, regionales y estatales. Albores*, 3(4), Article 4. <https://doi.org/10.61820/alb.v3i4.1238>
- Bardales-Mendoza, O. (2023). Carga doméstica, cuidado de los dependientes y violencia en el hogar durante el confinamiento por la Covid-19. *Revista Médica Herediana*, 33(4), 237–244. <https://doi.org/10.20453/rmh.v33i4.4402>
- Buira, D., Tovilla, J., Farbes, J., Jones, R., Haley, B., y Gastelum, D. (2021). A whole-economy Deep Decarbonization Pathway for Mexico. *Energy Strategy Reviews*, 33, 100578. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100578>
- Carrión, A., y Cisneros, P. (2023). Cambio climático: Políticas públicas y acción climática en América Latina. *Estado y comunes*, 1(16), Article 16. <https://doi.org/10.37228/>

estado_comunes.v1.n16.2023.295

- Castaño, J. C. C., Pozas, O. P. T., Ventura, R. A. A., Aguilar, A. C., y Alviso, C. R. (2025). Participación ciudadana y gestión ambiental en las políticas públicas en Ciudad de México (México). *Revista Controversia*, 224, Article 224. <https://doi.org/10.54118/controver.vi224.1345>
- Catalán Catalán, M. (2022). Discusiones sobre participación, comunidad(es) y territorio(s) desde el Trabajo Social para articular el desarrollo local. *Revista Transformación Socio-Espacial*, 2(01), 37–47. <https://doi.org/10.22320/24525413.2022.02.01.04>
- Cid, A., y and Lerner, A. M. (2023). Local governments as key agents in climate change adaptation: Challenges and opportunities for institutional capacity-building in Mexico. *Climate Policy*, 23(5), 649-661. <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2163972>
- DatosMacro. (2023). *México—Emisiones de CO2 2023*. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/mexico>
- Estrada-Chavira, M. E. (2022). Evolución y controversias de los bonos de carbono en México. *Semestre Económico*, 11(1), Article 1.
- Fals Borda, O. F. (1999). Orígenes universales y retos actuales de la IAP. *Análisis Político*, (38), 73-90.
- Feregrino, R. D. C. (2025). Opiniones de los estudiantes sobre las políticas pública en los municipios de Cadereyta de Montes y Ezequiel Montes. *Brazilian Journal of Development*, 11(4), e79282-e79282. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n4-051>
- García Valerio, A., y Adame Martínez, S. (2025). Evaluación del estado actual del manejo de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. *Quivera: Revista de Estudios Territoriales*, 27(1), 199-232.
- Garibaldi Trejo, L. A., Brito Carmona, R. M., Galán Castro, E. A., Frausto Martínez, O., Becerril Miranda, H., y Rodríguez Alviso, C. (2024). Coproducción de conocimiento socioambiental en la subcuenca Río la Sabana-Laguna de Tres Palos: Un estudio del espacio ribereño. *Acta universitaria*, 34. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662024000100150yscript=sci_arttext
- Gómez Barros, A. M. (2022). Cuando los muros hablan: el muralismo como herramienta de (de)construcción de memorias contrahegemónicas. *Cuadernos De Arte De La Universidad De Granada*, 53, 189–202. <https://doi.org/10.30827/caug.v53i0.24722>
- Gómez, M., y Villa, A. D. V. (2024). El sector agropecuario en México ante el cambio climático. *Itsï Echeri Revista de Divulgación de Estudios Económico Agroalimentarios y del Desarrollo Rural*, 2(4), Article 4. <https://doi.org/10.33110/itsiecheri.v2i4.27>
- Gómez Villerías, R. S., Galán Castro, E. A., y Ruz Vargas, M. I. (2021). Activismo ambiental e incidencia para la adaptación al cambio climático en Acapulco. *Espiral (Guadalajara)*, 28(82), 291-328.
- Igual, F. S. (2024). *Cambio climático y sequías en Querétaro*. <https://ri-ng.uaq.mx/>

handle/123456789/11168

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2024a). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*. gov.mx. <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2024b). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)–Datos.gob.mx/busca*. <https://historico.datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>
- Krippendorff, K. (2018). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. SAGE Publications.
- Melgar, F. C. (2024). Gobernanza para la ciudad: El poder de decisión de los ciudadanos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales-Relacis*, 3(1), 137-149.
- Melgar, F. C., Herrera, A. L. R., Castro, E. A. G., Vargas, M. I. R., y Umaña, M. R. (2022). La participación y gobernanza en la planeación urbana de Acapulco. *Regions and Cohesion*, 12(3), 110-133.
- Mendoza Padilla, R. (2024). *El reto organizacional de los concesionarios del transporte público en la Ciudad de México*. <https://repositorio.lasalle.mx/handle/lasalle/2871>
- Moreno, D. A. S., Zona, M. C. L., y Castaño, J. C. C. (2024). Procedimiento para la gestión de microrrutas de residuos sólidos urbanos con recicladores del municipio de Puerto López, Meta (Colombia). *CITAS: Ciencia, innovación, tecnología, ambiente y sociedad*, 10(2), 9.
- Moreno, V. M. R., García, G. M., Padilla, G. D., Corral, J. A. R., Avalos, J. E., y Ruvalcaba, J. E. M. (2021). ¿Por qué México es un país altamente vulnerable al cambio climático? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 25, Article 25. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2819>
- Nieves Guerrero, M. J. ., Cleofa Rosales, J. ., Tovar Marín, C. ., Martínez Prado, M. ., Brito Carmona, R. M. ., y Cardona Castaño, J. C. . (2025). Conocimiento local sobre el impacto ambiental de un tiradero a cielo abierto, comunidad San Martín, México. *En Contexto*, 13(24), 365–394. <https://doi.org/10.53995/23463279.1833>
- Nunes, L. J. R. (2023). The Rising Threat of Atmospheric CO2: A Review on the Causes, Impacts, and Mitigation Strategies. *Environments*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/environments10040066>
- Paliza, L. M. G., Martínez, P. G. R., y Güendulain, K. C. (2022). Escenarios de mitigación para México a 2050: Algunos hechos estilizados. *Sobre México Temas de Economía*, 1(6), Article 6. <https://doi.org/10.48102/rsm.v1i6.118>
- Pineda, J. A. A., Aguilar, B. M., y Martínez, E. S. (2025). El matorral micrófilo del Semidesierto Queretano: Conocimiento actual, amenazas y propuestas de conservación. *Naturaleza*

- y *Sociedad. Desafíos Medioambientales*, 11, Article 11. <https://doi.org/10.53010/nys11.02>
- Plata, M. M. (2022). Los retos de la gobernanza ambiental ante el riesgo y la incertidumbre asociado con el cambio climático. *Albores*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.5181/zenodo.6795227>
- Reséndiz-Martínez, J., Cardona-Castaño, J. C., Ortiz-Nieto, G., Quevedo-Martínez, E. A., y Vasco-Leal, J. F. V.-L. (2025). Gestión estratégica para el desarrollo empresarial: Diagnóstico de las necesidades locales. Caso Municipio de Cadereyta de Montes (México). *Brazilian Journal of Development*, 11(2), e77882-e77882. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n2-065>
- Rivera, M. L. S., y Ramos, S. A. M. (2024). Visualizando datos: Estudio exploratorio sobre los riesgos de la escasez del agua en el Estado de Querétaro. *Economía Creativa*, 21, Article 21. <https://doi.org/10.46840/ec.2024.21.720>
- Rosa, J. J. de la, Martínez, H. M., González, P. T., Virgen, Q. A., y Benavides, L. M. (2023). Gobernanza ambiental en la gestión de residuos sólidos de los municipios en Oaxaca, México. *Acta Universitaria*, 33, 1-19. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3704>
- Soto, J. C. G. (2024). *Propuesta para la implementación de humedales artificiales como alternativa de gestión hídrica en la microcuenca Mesa de Ramírez, Tolimán, Querétaro*. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/11155>
- Torres González, A., Guzmán Sala, A., & Aguilar-Olivé, C. G. (2024). La percepción de los usuarios en la experiencia turística en un pueblo mágico. *Cuadernos gestión turística Del Patrimonio*, 3(2), 1–13. <https://cuadernosgestionturisticadelpatrimonio.es/index.php/journal/article/view/35>
- Vilchis Pérez, T. E., Aparicio López, J. L., Terrón Amigón, E., Rodríguez Alviso, C., y Arellano Wences, H. J. (2021). Representaciones sociales de la gestión ambiental para la sustentabilidad en una comunidad escolar privada. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-74672021000200155yscript=sci_arttext
- Vilchis-Pérez, T. E., Jiménez-Martínez, N. M., y Herrera-Navarrete, R. (2025). Estrategias y retos en el manejo de residuos: Una visión global desde los rankings universitarios. *Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad*, 8, e479-e479.



PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) A NIVEL COMUNITARIO RURAL: PERSPECTIVA DE ACTORES DE LLANO REAL, MUNICIPIO DE BENITO JUÁREZ, MÉXICO.

Problem of Urban Solid Waste (USW) at the Rural Community Level: Perspective of Actors from Llano Real, Municipality of Benito Juárez, Mexico

Problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em Nível Comunitário Rural: Perspectiva dos Atores de Llano Real, Município de Benito Juárez, México

Alejandro Arroyo Reyes¹

 <https://orcid.org/0000-0002-3262-5182>

 ing.arroyo12@gmail.com

Ana Laura Juárez López¹

 <https://orcid.org/0000-0003-1020-7198>

 05197@uagro.mx


María Guadalupe Ibarra²

 <https://orcid.org/0000-0003-3206-6795>

 mgibarra@uais.edu.mx

María Laura Sampedro Rosas¹

 <https://orcid.org/0000-0001-7966-8190>

 05156@uagro.mx

Ramón Bedoya Solano¹

 <https://orcid.org/0000-0001-6219-4953>

 10771@uagro.mx

Félix Noe Bahena¹

 <https://orcid.org/0000-0002-6364-7691>

 felixnoebahena@gmail.com

¹Universidad Autónoma de Guerrero, México

²Universidad Autónoma Indígena de México

RESUMEN

Los problemas relacionados con los residuos sólidos han avanzado a nivel global, generando impactos socioambientales. Objetivo: Describir la problemática de los residuos sólidos urbanos desde el conocimiento de los actores, para proponer soluciones en un contexto de perspectiva comunitaria rural, Llano Real, Municipio de Benito Juárez, México. Metodología: cualitativo-exploratoria, ya que se basa en un acercamiento colectivo con los actores locales. Para ello se recolectó información mediante el diálogo directo con los actores y la observación en campo. Resultados: evidencian que la comunidad de Llano Real percibe una problemática creciente en torno a los residuos sólidos urbanos que llegan a la zona y generan impactos negativos en las playas. Esta situación refleja una falta de corresponsabilidad tanto de los sectores gubernamentales como de la propia comunidad,

PALABRAS CLAVES:

Residuos Sólidos Urbanos, Impacto Ambiental, Sustentabilidad

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 12 de Diciembre de 2025 / Fecha Aprobación: 26 de Febrero 2026 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Arroyo Reyes, A., Juárez López, A. L., Ibarra, M. G., Sampedro Rosas, M. L., Bedoya Solano, R. & Bahena, F. N. (2026). *Problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel comunitario rural: perspectiva de actores de Llano Real, Municipio de Benito Juárez, México*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 42-61. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a3>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 18 Num. 1, enero-junio de 2026

pues no se han exigido ni implementado respuestas efectivas. Ante ello, la comunidad propone diversas acciones de gestión compartida entre el gobierno y la ciudadanía, orientadas a fomentar hábitos y cultura ambiental en el manejo de los residuos sólidos. Asimismo, plantea la necesidad de reconocer la responsabilidad de las empresas y de la sociedad en general en la generación de residuos, promoviendo su participación activa en la mitigación del problema en las playas. Conclusión: la investigación comprendió la complejidad y la dinámica del impacto de los residuos sólidos en las comunidades rurales de Guerrero, destacando la importancia de fortalecer la gestión comunitaria y la educación ambiental como ejes para alcanzar soluciones sostenibles.

ABSTRACT

Problems related to solid waste have advanced globally, generating socio-environmental impacts. Objective: To describe the problem of urban solid waste based on the knowledge of local actors, in order to propose solutions within a rural community context in Llano Real, Municipality of Benito Juárez, Mexico. Methodology: Qualitative and exploratory, as it is based on a collective approach with local actors. The Information was collected through direct dialogue with community members and field observation. Results: The findings show that the community of Llano Real perceives a growing problem concerning urban solid waste that reaches the area and generates negative impacts on the beaches. This situation reflects a lack of shared responsibility between government sectors and the community itself, as no effective responses have been demanded or implemented. In response, the community proposes various co-management actions between government and citizens aimed at promoting environmental habits and culture in solid waste management. It also highlights the need to recognize the responsibility of companies and society in general for waste generation, encouraging their active participation in mitigating the problem on the beaches. Conclusion: The research helped to understand the complexity and dynamics of the impact of solid waste on rural communities in Guerrero, emphasizing the importance of strengthening community management and environmental education as key axes to achieve sustainable solutions.

RESUMO

Os problemas relacionados aos resíduos sólidos têm avançado em nível global, gerando impactos socioambientais. Objetivo: Descrever a problemática dos resíduos sólidos urbanos a partir do conhecimento dos atores locais, com o propósito de propor soluções em um contexto comunitário rural, na comunidade de Llano Real, Município de Benito Juárez, México. Metodologia: Pesquisa de caráter qualitativo e exploratório, baseada em uma abordagem coletiva com os atores locais. A informações por meio do diálogo direto com os moradores e da observação em campo. Resultados: Evidenciou-se que a comunidade de Llano Real percebe um problema crescente relacionado aos resíduos sólidos urbanos que chegam à região e geram impactos negativos nas praias. Essa situação reflete uma falta de corresponsabilidade tanto dos setores governamentais quanto da própria comunidade, uma vez que não foram exigidas nem implementadas respostas efetivas. Diante disso, a comunidade propõe diversas ações de gestão compartilhada entre governo e cidadãos, voltadas para o fomento de hábitos e cultura ambiental no manejo dos resíduos sólidos. Além disso, destaca-se a necessidade de reconhecer a responsabilidade das empresas e da sociedade em geral na geração de resíduos, promovendo sua participação ativa na mitigação do problema nas praias. Conclusão: A pesquisa permitiu compreender a complexidade e a dinâmica do impacto dos resíduos sólidos nas comunidades rurais de Guerrero, ressaltando a importância de fortalecer a gestão comunitária e a educação ambiental como eixos fundamentais para alcançar soluções sustentáveis..

KEYWORDS

Urban Solid Waste,
Climate Change,
Sustainability

PALAVRAS-CHAVE

Resíduos Sólidos
Urbanos, Mudança
Climática,
Sustentabilidade

INTRODUCCIÓN

La contaminación por residuos sólidos urbanos (RSU) constituye uno de los principales desafíos ambientales de la actualidad, con repercusiones directas en la salud humana, los ecosistemas y el equilibrio climático. Esta situación se agrava por la creciente urbanización, la concentración poblacional y las actividades productivas y turísticas, que elevan el volumen de desechos y los impactos asociados al cambio climático. Diversos estudios señalan que la ausencia de cobertura total en la recolección, los sistemas obsoletos para gestionar los residuos sólidos y la baja participación ciudadana representan los principales retos de la gestión integral de los RSU en contextos municipales (Moreno et al., 2024; Perdomo-Marín, 2025b; Rojas Casarrubias et al., 2025; Galán-Castro et al., 2023).

Desde otro punto de vista, los RSU provienen de fuentes domiciliarias, comerciales e institucionales, y su inadecuada disposición se ha convertido en un problema creciente, particularmente en países en desarrollo, donde las limitaciones financieras, técnicas y sociales obstaculizan una gestión eficiente. A esta problemática se suman los desechos generados por actividades humana afectan directamente a las zonas marítimas y costeras, que incrementan la contaminación de los océanos y litorales (Casarrubias-Jaimez et al., 2021).

En México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 2012) establece una clasificación de residuos que incluye residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP), cuya disposición inadecuada genera riesgos ambientales y sociales de gran magnitud. Esta situación se agrava por la creciente urbanización, la concentración poblacional y las actividades productivas y turísticas, que elevan el volumen de desechos y los impactos asociados al cambio climático (Perdomo-Marín, 2025a).

Ante este panorama, la *innovación social* emerge como una alternativa viable para promover cambios de comportamiento y fortalecer la cooperación comunitaria en la gestión de residuos. Este enfoque, entendido como la implementación de nuevas formas de acción colectiva orientadas a la resolución de problemas socioambientales permite generar soluciones contextualizadas y sostenibles que vinculan a gobiernos, comunidades y actores sociales en la construcción de estrategias participativas (Cardona-Castaño et al., 2025; Lima Vargas et al., 2025).

En este sentido, la innovación social no solo contribuye a la eficiencia en la gestión ambiental, también al fortalecimiento del capital humano y a la resiliencia comunitaria (Morales-Ruano et al., 2022). Desde el enfoque de la innovación social frente a la inadecuada gestión de residuos sólidos en las comunidades rurales de Guerrero, se puede lograr una aproximación a una responsabilidad entre la ciudadanía, la institucionalidad y las diversas acciones de poder para mitigar dicho problema en el territorio. Según Cardona-Castaño et al. (2023), este problema se debe a una carencia en la planificación del territorio y la falta de estrategias participativas. El cambio en la generación de los residuos sólidos, simplemente no radica en acciones institucionales, sino en trabajo de la sociedad civil.

Desde esta perspectiva, la investigación se articula en tres dimensiones. En primer lugar, la participación comunitaria, que permitió abrir espacios de diálogo libre y espontáneo sobre la problemática ambiental. En segundo lugar, la posibilidad de generar conocimientos

que orienten la formulación de políticas públicas sensibles al contexto rural y costero. En tercer lugar, el aporte a la dimensión de la gobernanza ambiental, entendida como un proceso dinámico en el que las comunidades, a través de su participación, pueden influir en la construcción de soluciones sostenibles.

Con base en lo anterior, el objeto de estudio de esta investigación es el análisis de la problemática de los RSU en la comunidad de Llano Real, ubicada en la línea costera del estado de Guerrero. Con la intención de identificar las causas, consecuencias y posibles soluciones desde un enfoque participativo de los propios habitantes y actores de la comunidad, conectando con las personas y sus experiencias cotidianas para comprender cómo enfrentan y valoran el tema de la gestión de residuos sólidos.

De esta manera, la investigación adquiere relevancia al constituirse como un punto crítico para analizar cómo las comunidades con vocación turística deben ser comprendidas a partir de una mirada integral: técnica, científica y comunitaria. Solo así es posible diseñar estrategias que contribuyan a minimizar los impactos ambientales derivados de la gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos, tal como lo plantea (Lima Vargas et al., 2025), en relación con este fenómeno.

Resultó indispensable explorar estrategias de gestión participativa e innovadora que integren a la comunidad de Llano Real en la búsqueda de soluciones sostenibles para el manejo de residuos sólidos. Se adopta el enfoque de la innovación social, resaltando su potencial para mejorar las condiciones ambientales y sociales de la región, así como su relevancia para enfrentar los retos derivados del cambio climático y la presión turística. Se logra describir la problemática de los RSU desde el conocimiento de los actores, para proponer soluciones en un contexto de perspectiva comunitaria rural, Llano Real, Municipio de Benito Juárez, México.

METODOLOGÍA

Zona de investigación: la comunidad de *Llano Real, municipio de Benito Juárez, Guerrero*, constituye un caso representativo para analizar esta problemática, con apenas 423 habitantes y una localización estratégica entre la laguna de Mitla y el océano Pacífico, la comunidad combina actividades económicas tradicionales como la pesca y turismo, lo que genera importantes servicios ambientales y recreativos. Los participantes reportaron un crecimiento turístico importante en los últimos años, así como nuevos asentamientos humanos, lo que explica la baja gestión en la recolección de RSU y la proliferación de tiraderos clandestinos han deteriorado la sostenibilidad local. A ello se suman los impactos de fenómenos meteorológicos extremos de los últimos años como el huracán Otis en 2023 y John en 2024, que han incrementado la vulnerabilidad ambiental y social de la zona por lo que se deben generar estrategias comunitarias y de mitigación ante los problemas ocasionado por los eventos hidrometeorológica, a través de un trabajo colectivo.

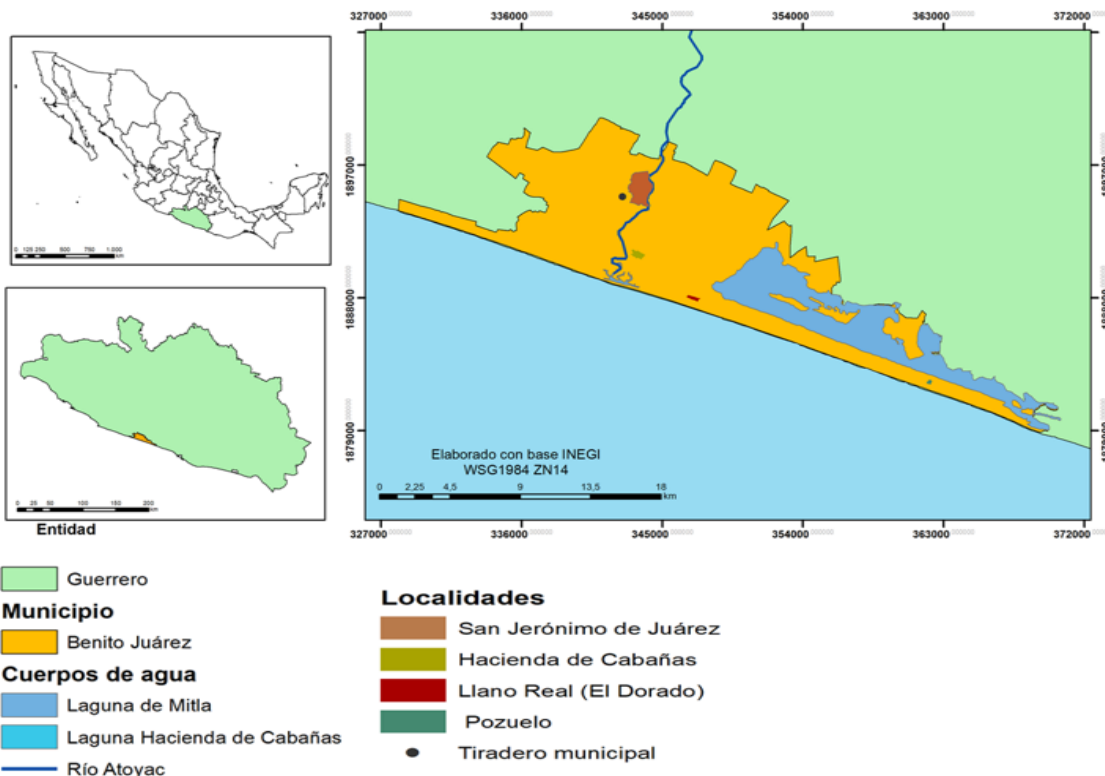
Tipo de estudio: es una investigación de orden cualitativo, exploratoria con un acercamiento a un trabajo colectivo. Asimismo, dado que no se ha generado una profunda investigación en materia socioambiental en la zona y recomendaciones como la de Casarrubias-Jaimez

et al. (2021), plantea investigar los problemas de los residuos sólidos en las zonas rurales, ubicadas en el litoral de la línea costera de Guerrero. Sin embargo, la investigación tuvo al inicio un proceso de estadística descriptiva asociado a la revisión documental y de literatura; sin perder la naturalidad de lo cualitativo.

Impacto, pertinencia e importancia del área de estudio

La comunidad de Llano Real pertenece al municipio de Benito Juárez, ubicado en la región de la Costa Grande del estado de Guerrero, México (Figura 1). Limita al oeste con Técpan de Galeana, al norte con Atoyac de Álvarez, y al este con Coyuca de Benítez. Su territorio se compone en un 60 % de llanuras y un 34 % de playas de aguas turquesas bañadas por el Océano Pacífico, caracterizadas por su belleza paradisíaca. El clima predominante es cálido-húmedo, con una estación lluviosa en verano. Hidrográficamente, la zona está integrada por tres subcuencas: Cacalutla (61.24 %), L. del Tular (25.86 %) y Río Atoyac (12.9 %). Estas alimentan el sistema lagunar de Mitla y, a través de la apertura de barras naturales, desembocan en el Océano Pacífico. Este dinamismo hidrológico favorece la presencia de un ecosistema rico en biodiversidad.

Figura 1.
Zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con información de (CONABIO, 2025), procesamiento el software Qgis.

Estructura metodológica

Reconocimiento del área de estudio e identificación de fuentes contaminantes (Tabla 1): se realizaron 7 recorridos de campo al área de estudio para localizar fuentes contaminantes en las siguientes fechas. Los talleres que se realizaron a nivel comunitario permitieron un acercamiento o conexiones con los actores; esto ayudó a nivel investigativo a crear un espacio de apropiación y trabajo colectivo.

Tabla 1.
Relación de salidas de campo

Fecha	Actividad
Visita 1: 25 de abril de 2023	Identificación de área de estudio
Visita 2: 26 de septiembre de 2023	Identificación de fuentes contaminantes
Visita 3: 12 de diciembre 2023	Conexión con autoridades municipales
Visita 4: 16 de enero de 2024	Recorridos de campo para identificar nuevas fuentes contaminantes
Visita 5: 02 de mayo de 2024	Tomas fotográficas de nuevos tiraderos a cielo abierto con Dron HJI mini 3
Visita 6: 06 de julio de 2024	Entrevista a actores clave
Visita 7: 01 de noviembre de 2024	Reunión con grupo de jóvenes y limpieza de punto negro en Llano Real.

Fuente: *elaboración propia*

De las actividades que se desarrollaron en la comunidad de Llano Real, surgieron elementos importantes que nutrieron el análisis y los hallazgos:

- I. *Observación directa en campo:* se realizaron recorridos de campo por las playas de Llano Real, y se tomaron notas de campo describiendo la situación observada.
- II. *Mapeo de actores:* se realizó un mapa de actores para identificar la responsabilidad y el papel de cada actor dentro de la problemática de la generación de residuos sólidos en esta zona rural del Municipio de Benito Juárez, también lo plantea Lorenzana Serna et al. (2025) y Cardona-Castaño et al. (2024).
- III. *Imágenes con Dron:* se hicieron dos sobrevuelos para tener una panorámica de la comunidad y tener una perspectiva área de la zona.
- IV. *Percepción de los actores locales:* una vez recolectada toda la información sobre las expresiones y conocimientos de los participantes, se sistematizaron los datos obtenidos en los diálogos. Esto permitió comprender cómo conceptualizan las acciones para el manejo de RSU, así como las corresponsabilidades y el trabajo colectivo. Dentro de la investigación, este proceso permitió validar la información recolectada, respaldándola con las imágenes del “Dron” y la percepción de los actores locales.
- V. *Población, muestra y validación:* en total, se trabajó con 13 actores locales, con quienes se realizaron diálogos y se completó el ejercicio de visitas de campo. Durante las siete visitas, estos actores participaron activamente y aportaron

propuestas significativas. Por otro lado, el contacto inicial con tres de estos actores se dio gracias a la gestión de los investigadores con la Dirección de Ecología, quien derivó la convocatoria a la comunidad. Para la selección de los participantes, se utilizó un muestreo por bola de nieve, lo que permitió recolectar información hasta alcanzar la saturación de datos. Este proceso permitió a los investigadores confirmar que, más allá de un simple acercamiento exploratorio, se logró un estudio consistente sobre la problemática abordada.

VI. *Soluciones propuestas:* se planteó en forma de flujograma que permitió ir categorizando el diálogo de los actores hasta llegar a posibles soluciones.

RESULTADOS

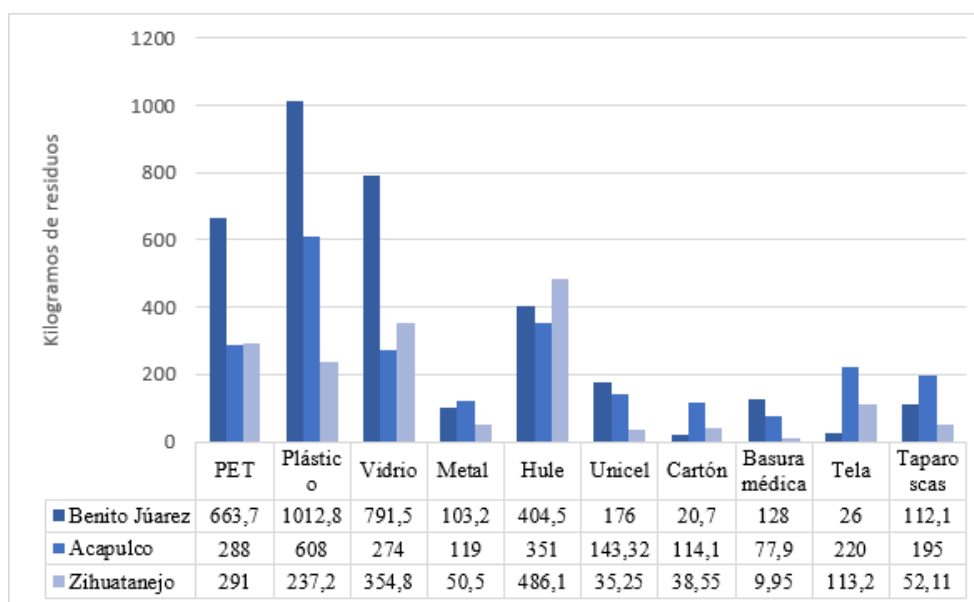
Se exponen los resultados del caso de estudio, Llano Real.

Panorama general del problema de RSU

Aunque el municipio de Benito Juárez no es altamente turístico, supera en generación de residuos sólidos a otros municipios que sí lo son, como Zihuatanejo y Acapulco (Figura 2) en época de huracanes por el arrastre de contaminantes del río Atoyac en las playas de Benito Juárez. Estos residuos, que se acumulan en varias comunidades que atraviesa el río Atoyac, terminan afectando a comunidades como Llano Real, una zona rural alejada del casco urbano, de San Jerónimo, cabecera municipal de Benito, Juárez, Guerrero, tal como se muestra en la Figura 1. La problemática de los residuos sólidos impacta de manera sistemática a las comunidades ubicadas en la periferia, es decir, aquellas que se encuentran fuera del centro urbano.

Figura 2.

Comparativa de materiales contaminantes en Benito Juárez, Acapulco, Zihuatanejo



Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos del estudio de (Rinker et al., 2014) Biodiversity

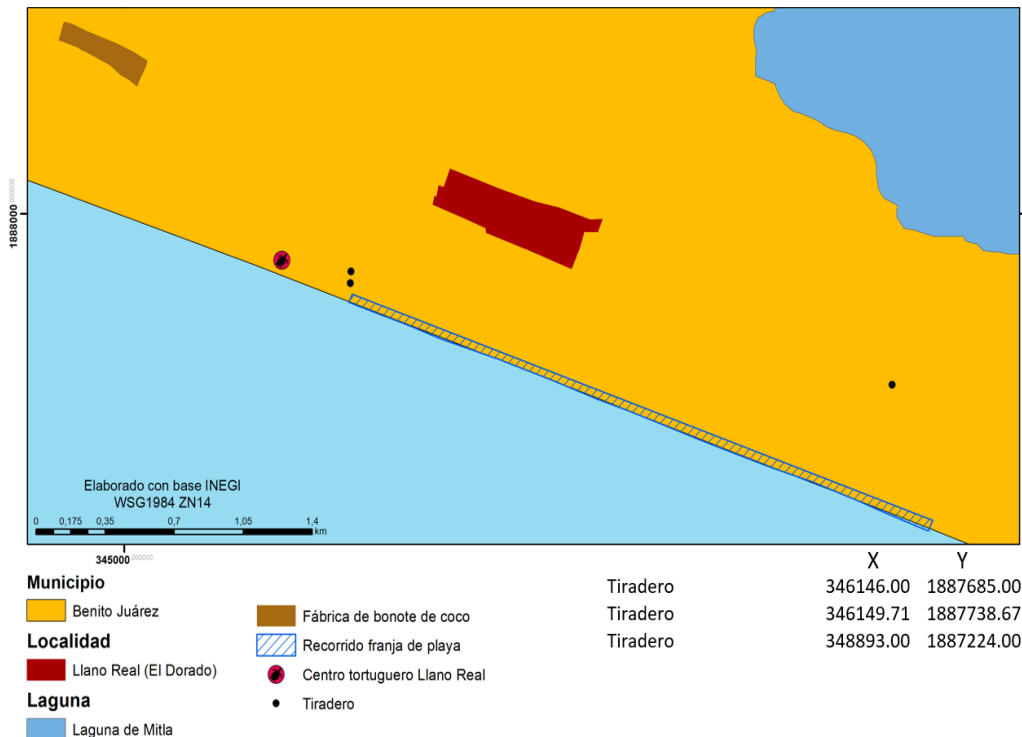
Research Institute (Gorham, ME, USA).

Reconocimiento del área de estudio e identificación de fuentes contaminantes

El reconocimiento del área de estudio, así como, la participación de investigadores y actores permitió conocer las dinámicas sociales dentro de la comunidad, esto arrojó un problema no detectado o contemplado en esta investigación. Se comprobó que el cambio de uso de suelo por nuevos desarrollos urbanos a orilla de playa afecta directamente en la proliferación de los RSU y se ha transformado en tiraderos clandestinos (Figura 3) en distintos puntos de la comunidad, los cuales fueron geolocalizados. Sin embargo, conforme se hicieron los nuevos recorridos, se encontró que había quema de residuos sólidos, gravando el problema de los tiraderos a cielo abierto; ante este panorama los actores que participaron dentro de la investigación, manifestaron su preocupación. Esta misma problemática la detectó Rendón-Caro et al. (2025), en la Costa Chica, pero, hacia el Municipio de Tecpan de Galeana, la inadecuada disposición de residuos sólidos y la quema de los mismo, problema que no ha sido contemplado por las autoridades locales.

Figura 3.

Geolocalización de tiradores a cielo abierto clandestinos en la comunidad.



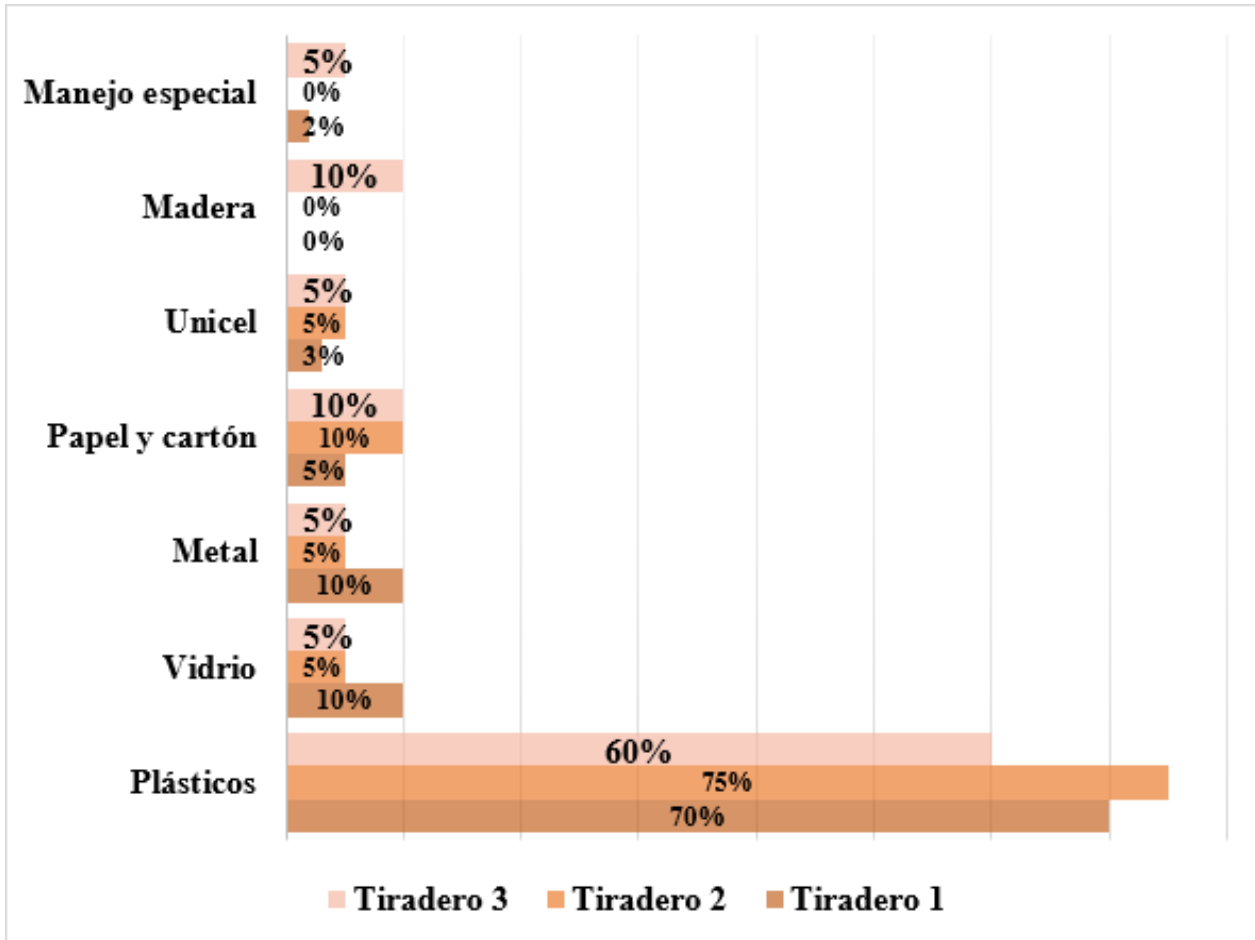
Fuente: elaboración propia con datos obtenidos a través de GPS (Garmin etrex 10).

Los nuevos desarrollos urbanos no planificados han comprometido la sustentabilidad de la comunidad, la inadecuada gestión de la recolección municipal y el incremento del turismo los fines de semana y en temporada vacacional son variables que han aumentado la cantidad residuos sólidos urbanos y el surgimiento de tiraderos clandestinos. Donde

la mayor cantidad de los RSU encontrados se puede apreciar la presencia de plásticos, vidrio, metal, cartón, uncel y algunos escombros derivados de las nuevas construcciones, que al estar expuestos al aire libre animales de pastoreo los usan de alimentos, pudiendo provocar infecciones en las personas que consumos los productos que de ellos derivan (Figuras 4,5 y 6). Esta problemática también, fue detectada por Blanco et al. (2018), como un problema que radica en el apoyo institucional, los ayuntamientos tienen que formar parte de la solución.

Figura 4.

Estimación de tipos de residuos sólidos frecuentes en tiraderos a cielo abierto

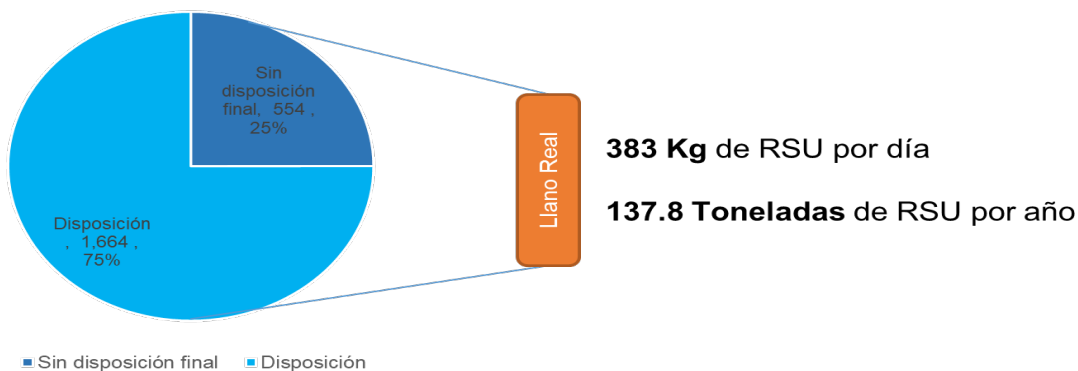


Fuente: elaboración propia con datos de (Gobierno del Estado de Guerrero, 2024). Tres tiraderos a cielo abiertos identificados en las comunidades de Llano Real.

Figura 5.

Generación de residuos sólidos urbanos y el aporte de la comunidad Llano Real

En Benito Juárez, Guerrero se generan **2,218 Ton/año** de RSU



Fuente: elaboración propia con datos de Rinker et al. (2014) Biodiversity Research Institute (Gorham, ME, USA, se explica como la comunidad de Llano Real, aporta a la problemática pero, recibe por arrastre residuos sólidos generados en el resto del municipio de Benito Juárez

Figura 6.

Tiradero a cielo abierto clandestino en la comunidad de Llano Real.



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos a través de la observación en campo y la técnica de Dron DJI mini 3

Dentro de los recorridos que se hicieron se reconoció el sitio de disposición final del municipio y la ruta que sigue el camión recolector, cabe mencionar que dicho camión pasaba una vez por semana por la comunidad, pero actualmente solo pasa por los restaurantes de playa, dejando a la comunidad sin el servicio de recolección de residuos (Figura 7). El sitio de disposición final se encuentra en la cabecera municipal, San Jerónimo, en la salida del pueblo, incumpliendo con las normas establecidas para un sitio de disposición final, los residuos sólidos urbanos del municipio son dispuestos en este lugar que se encuentra aproximadamente a 25 minutos de la comunidad de Llano Real, pero el camión

hace esa ruta en más de 2 horas y al ser el único camión recolector del municipio y con más demanda de trabajo de otras comunidades, se hace más complicada la recolección en la comunidad de Llano Real. Esto está alineado con los resultados de Gutiérrez (2025) y Vilchis-Pérez et al. (2025) México, donde plantea que la planificación de las rutas de gestión de residuos sólidos tiene que garantizar a la ciudadanía la recolección; pero, en Llano Real, esta planificación no existe.

Figura 7.

Sitio de disposición final del municipio de Benito Juárez, Guerrero.



Fuente: elaboración propia a partir de recorridos de campo.

Percepción de actores clave

Se realizó el mapeo de actores clave (Figura 8) de la comunidad que tienen liderazgos en el tema ambiental de la comunidad. Dentro del diálogo que hubo con los actores, se planteó el concepto de residuos sólidos, las causas percibidas, los efectos de la responsabilidad y las estrategias. En este punto de la investigación los hallazgos Covarrubias Melgar et al. (2022) y Covarrubias Melgar (2024), revelaron que el impacto por los RSU, tiene un complejo entramado y circunstancias que radican en la ciudadanía, el aparato municipal antes los problemas socioambientales y la baja o nula planificación sobre los tiraderos clandestinos.

El concepto “residuos sólidos”, desde la percepción de los actores claves participantes

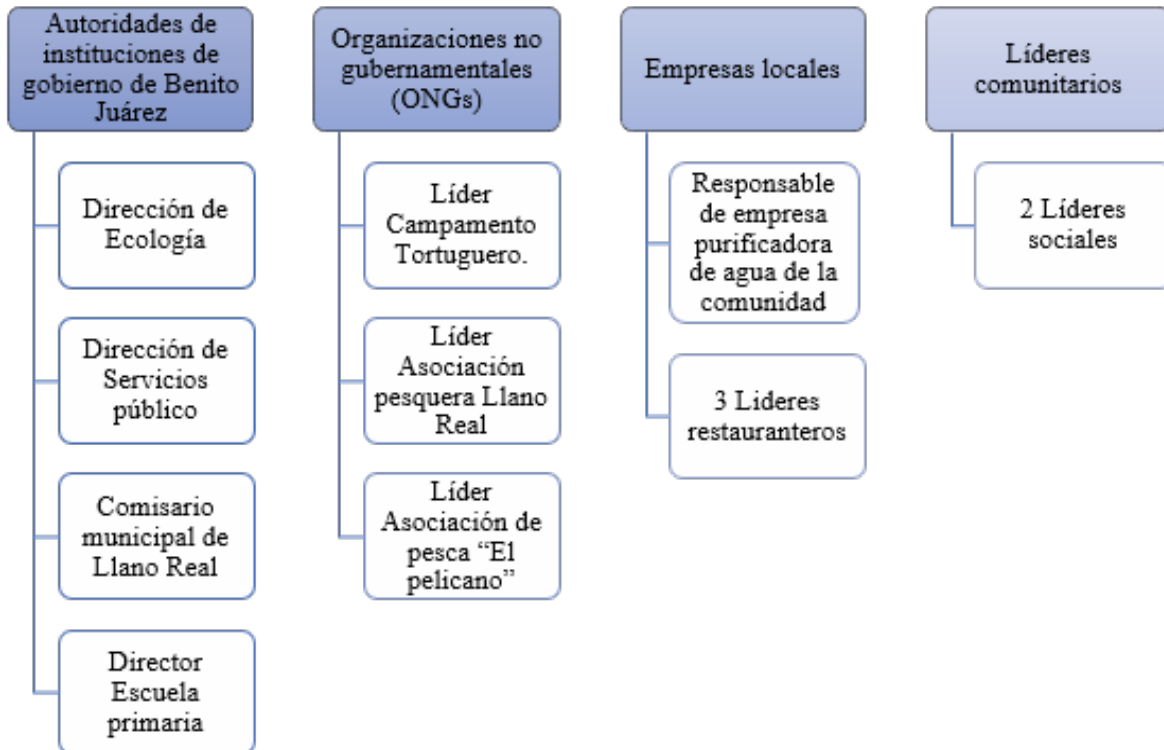
Al ser consultados sobre el término, cinco actores señalaron no conocer su definición, mientras que los otros ocho proporcionaron un concepto. Entre los elementos clave, los participantes lo asociaron con la basura, lo describieron como desechos producidos por las personas y negocios que habitan una localidad e identificaron la cotidianidad de su producción. Adicionalmente, dos personas señalaron la presencia de plásticos PET, y un participante asoció el concepto con las zonas urbanas.

- I. Es lo que comúnmente se denomina basura y que generamos como comunidad y negocios como desechos (comerciante, dueña de restaurante).
- II. Desechos de las zonas urbanas (director de ecología).

- III. Los diferentes residuos, material como el desechable, el plástico el PET ese tipo de residuos sólidos (director de escuela primaria).

Figura 8.

Mapa de actores



Fuente: elaboración propia con información de las reuniones

Causas percibidas de la inadecuada gestión de residuos sólidos en la comunidad

Los participantes identificaron tres causas (de manera directa o indirecta) de la problemática: 1) falta de educación ambiental, 2) falta de presupuesto y personal municipal y 3) la poca participación o involucramiento de los actores. Con respecto al primer punto, cuatro participantes señalaron que los habitantes no cuentan con la "cultura" o "hábitos" de gestión de residuos:

1. Las personas, no tienen hábitos de depositar sus residuos, tiran los residuos a la calle, antes no había camión recolector, pues antes no existía la recolección que comenzó a hacerse en este trienio, los malos hábitos de las personas y falta de cultura de las personas (director de escuela primaria)
2. Existe gente irresponsable que tira basura en todos lados y es un problema para la comunidad y la playa, pues hay basura en lugares baldíos por parte de enramadas, hace falta conciencia y educación por parte de la población (presidente de cooperativa pesquera).

En cuanto al segundo punto, dos actores señalaron que no se cuenta con la capacidad municipal, a nivel de presupuesto, personal e infraestructura (camiones) como para atender la problemática.

- “Es un problema que afecta a Llano Real y a todo el municipio, no es suficiente el camión recolector que se tiene para todo el municipio, hay mucha contaminación (director de servicios públicos).”
- “Existen problemas en el sistema de recolección, basureros a cielo abierto, poco personal, unidades y presupuesto (director de ecología).”

Un tercer punto hace referencia al poco involucramiento de los actores sociales. Existe una percepción más o menos generalizada de que la comunidad no es participativa para las problemáticas sociales que aquejan a la localidad.

“Hay poca unión, falta de participación de la comunidad (ex comisario de Llano Real).”

Esta visión está representada en las investigaciones de Rendón-Caro et al. (2025), donde se problematiza sobre la relevancia de la corresponsabilidad y las responsabilidades compartidas como acto de participación para mitigar los problemas ocasionados por los residuos sólidos, algo que medianamente surge en este estudio.

Responsabilidad percibida

Cuando fueron consultados acerca de quiénes son los responsables de la inadecuada gestión de los residuos sólidos, los participantes identificaron a cinco actores. En primer lugar, y con mayor frecuencia, se señaló a los mismos habitantes de la localidad; luego, se señaló a los negocios locales, luego se ubican los visitantes y turistas y las comunidades vecinas, con cuatro menciones respectivamente; y finalmente la administración municipal. Con respecto a las comunidades vecinas, destaca lo señalado por dos actores en específico:

“Es necesario también poner atención a las demás comunidades ya que la basura de playa Paraíso termina desembocando en Llano Real (líder restaurantero).”

“Las enramadas, visitantes y habitantes, también parte de la contaminación se debe a la abertura de la barra de la playa Paraíso (comisaria).”

Este hallazgo sobre los problemas en la parte rural, también descritos por Herrera-Navarrete et al. (2022) describe como se generan corresponsabilidad y estrategias de desarrollo para mitigar los problemas socioambientales en el sector rural; algo que estuvo presente en esta investigación y es importante allanar el camino a una responsabilidad compartida.

Formas de manejo de residuos sólidos urbanos en Llano Real

Los participantes identificaron cinco formas en las cuales los actores sociales (habitantes, restauranteros, visitantes) tratan los residuos sólidos:

- ✓ Basureros clandestinos: entendidos como espacios no formales en los cuales la

- comunidad deposita sus residuos, con la consecuente acumulación de basura.
- ✓ Camión recolector semanal: los actores señalaron que de manera reciente se ha implementado el camión recolector, el mismo que recorre el municipio una vez a la semana.
 - ✓ Enterrar la basura
 - ✓ Quema de basura
 - ✓ Reciclaje de envases y contenedores de plástico PET, usualmente recolectados por el sector informal, individuos que posteriormente los venden.

Consecuencias percibidas de la inadecuada gestión de residuos

De acuerdo con los participantes, existen cuatro grandes efectos de la inadecuada gestión de residuos en el entorno comunitario: contaminación ambiental: los actores señalan que la acumulación de basura afecta negativamente el medio ambiente, tanto a gran como a pequeña escala. Esto se visibiliza en las playas, pero se reconoce también la afectación a los suelos y el océano. Además, se señaló el impacto de la quema de basura en la calidad del aire, estas consecuencias están alineadas a la disertación de Arrieta-Robles et al. (2025), donde plantea como las zonas rurales están susceptibles a problemas socioambientales.

- ✓ La comunidad arroja basura por todos lados y en basureros clandestinos, bolsas y uncel terminan en la playa y en el mar (director de servicios públicos).
- ✓ Contaminación del aire por la quema de la basura (presidente de cooperativa pesquera).
- ✓ Afectación de la fauna: los participantes señalaron que han observado afectación de los animales silvestres de la localidad, tanto a nivel terrestre como marítimo.
 - “Afecta a los animales marinos como las tortugas, pues los desechos plásticos van a dar al mar o a la playa y las crías de las tortugas se enredan y no pueden llegar al mar (restaurantera)”.
- ✓ Insalubridad y riesgo infeccioso: en relación con los dos puntos previos, los participantes señalaron que la contaminación ambiental representa un riesgo para la salud de las personas, sea por la generación de focos infecciosos de enfermedades (como el dengue) algo que coincide con los resultados de Balbuena-Hernández et al. (2025), donde explica el surgimiento de enfermedades infecto-contagiosas por el inadecuado manejo de residuos sólidos y la contaminación al suelo por residuos.
 - “Borregos y chivos consumo de basura, esta se transforma en microplásticos que son consumidos por las personas después (presidente de la cooperativa pesquera).”
 - “Representa una gran problemática por contaminación, producción de zancudos, tiraderos de basura en la comunidad, se pueden generar

enfermedades (excomisario de Llano Real).”

- ✓ Afectación al turismo: por último, los participantes señalaron que la contaminación del ambiente afecta a nivel visual el entorno, reduciendo el potencial turístico de la zona.
 - “En primera afectación que se ve a simple vista es la imagen, Llano Real es un lugar turístico (director de escuela primaria).”

Soluciones propuestas

Aunque breves, los participantes proporcionaron algunas potenciales estrategias para la mejora o resolución de la problemática (Figura 9). En general, existieron propuestas relacionadas con mejorar la gestión de los residuos, como incrementar la frecuencia de la recolección e implementar contenedores temporales de basura en diferentes puntos de la localidad, propuestas que también se describen en (Espinoza et al., 2021).

“Proporcionar contenedores de basura y recolectar con mayor frecuencia (comisaria)”.

Otra propuesta gira en torno a incrementar el involucramiento de los actores para desarrollar estrategias de solución en común, como implementar campañas y fomentar la educación ambiental.

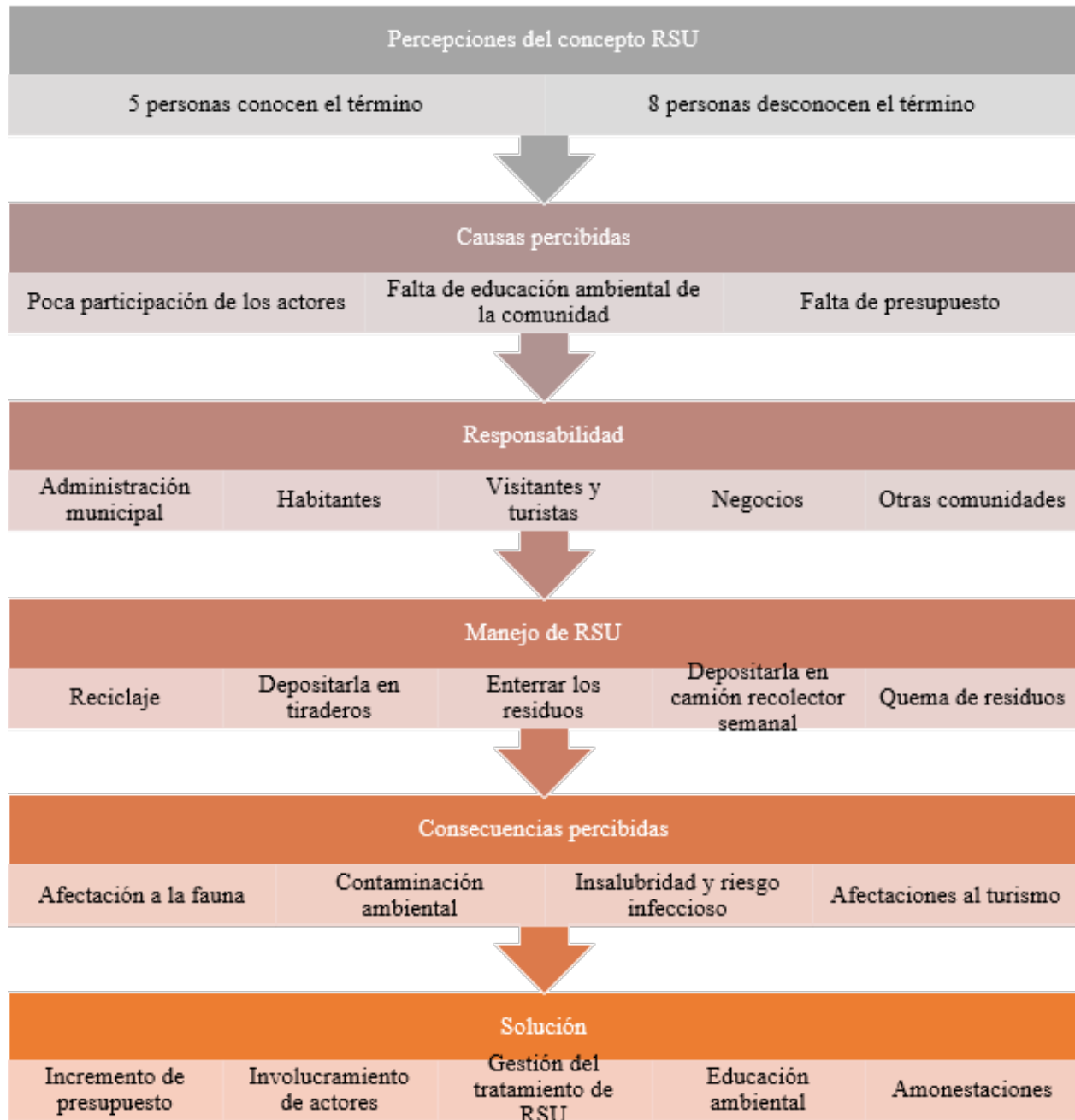
“Campañas de limpieza, fomentar la creación y colocación de anuncios para no tirar basura involucrando a estudiantes (comerciante).”

En este punto, también surgió la propuesta de desarrollar y fortalecer la educación ambiental en toda la ciudadanía.

Reuniones, pláticas, concientización de propietarios de enramados y sociedad en general, y que la recolección de basura en temporada alta fuera diaria (presidente de sociedad pesquera).

Por último, existieron dos propuestas que solo fueron mencionadas una vez: colocar amonestaciones e incrementar el presupuesto para la gestión de residuos.

Figura 9.
Flujo de soluciones propuestas



Fuente: elaboración propia a partir entrevistas procesadas en software Atlas Ti.

CONCLUSIONES

La investigación reflexiona y describe los problemas asociados a los RSU en el municipio y, en particular, en la comunidad de Llano Real. El análisis demuestra que la generación de residuos no responde únicamente a un fenómeno ambiental, sino que está vinculada

a factores sociales, económicos y al turismo creciente que, en los últimos años, se ha intensificado en la región. La urbanización de ciertas zonas y el surgimiento de polos de desarrollo emergentes han acelerado la producción de RSU, lo que exige un monitoreo constante. En este sentido, la investigación recomienda atender de manera prioritaria estos procesos de transformación territorial pues, aunque generan derrama económica vinculada al turismo de Zihuatanejo y Acapulco, también ocasionan problemáticas ambientales complejas a nivel comunitario.

Para la comunidad de Llano Real, esta situación resulta crítica, ya que los tiraderos clandestinos evidencian la ausencia de mecanismos de gestión adecuados y la falta de estrategias institucionales que involucren a los actores locales. Esta desconexión entre la administración pública y la comunidad se traduce en una baja planificación municipal frente al desarrollo turístico y la generación de residuos, lo que profundiza las desigualdades entre las zonas urbanas y las rurales.

La percepción de los actores clave destaca tres causas centrales de la problemática y, al mismo tiempo, posibles vías de solución: 1) la falta de educación ambiental, 2) la insuficiencia de recursos municipales y 3) el limitado involucramiento comunitario. Frente a ello, se plantea la necesidad de fortalecer procesos de innovación social que permitan atacar las causas estructurales de la generación de RSU.

Asimismo, la investigación permitió identificar la corresponsabilidad de distintos sectores: negocios locales, turistas, comunidades vecinas y autoridades. Todos ellos forman parte de la problemática y, por lo tanto, deben generar acciones para enfrentarla. Sin embargo, se observa que aún no existen alternativas institucionales sólidas que acerquen a la comunidad soluciones viables y sostenibles, por lo que es indispensable que se vincule al gobierno local para fortalecer las políticas públicas en la gestión de los residuos sólidos urbanos.

Finalmente, aunque en Llano Real existe un reconocimiento de la necesidad de atender la problemática, se detecta como limitación la dificultad para reunir y articular a los distintos actores sociales. Este aspecto se convierte en un punto clave a considerar en futuras investigaciones, para avanzar hacia la construcción de soluciones requiere de la consolidación de espacios de encuentro y corresponsabilidad comunitaria.

REFERENCIA

- Arrieta-Robles, N. G., Arellano-Wences, H. J., Reyes-Umaña, M., Rodríguez-Alviso, C., Barragán-Bautista, E., & González-González, J. (2025). Cobertura de mangle en la laguna de Coyuca, México: Propuesta de actualización desde la perspectiva local. *Revista Científica del Amazonas*, 8(15), Article 15. <https://doi.org/10.34069/RA/2025.15.01>
- Balbuena-Hernández, R. I., Flores-Nava, J. M., Deloya-Hernández, G., & Casarrubias-Jaimez, A. I. (2025). Análisis sociodemográfico sobre el conocimiento de dengue en

- dos localidades costeras afromexicanas de la Costa Chica de Guerrero, México. *Acta Universitaria*, 35, 1-12. <https://doi.org/10.15174/au.2025.4437>
- Blanco, I., Gomà, R., & Subirats, J. (2018). El nuevo municipalismo: Derecho a la ciudad y comunes urbanos. *Gestión y Análisis de Políticas Públicas*, 20, 14-28.
- Cardona-Castaño, J. C., Ospina Arias, A., Cubides Suarez, F. A., & Sánchez Cubides, J. D. (2024). Desafíos y tensiones en la gestión del recurso hídrico: el caso de la zona alta del río Quindío. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC*, 16(2), 21-38. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v16n2a2>
- Cardona Castaño, J. C., Reséndiz, M. G. M., Martínez, J. R., Vargas, A. E. L., Moreno-Juárez, A., & Brito-Carmona, R. M. (2025). Hurricane Otis in Acapulco: A view from the theory of crisis management. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.24294/jipd6204>
- Cardona-Castaño, J. C., & Leal-Vasco-Leal, J. F. (2025). Desafíos de la sustentabilidad y el desarrollo local: Análisis en Cadereyta de Montes, Querétaro, México. *territorios*, 53. <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/territorios/article/view/14523>
- Cardona-Castaño, J. C., Rodríguez-Alviso, C., Maganda-Ramírez, M. C., Villerías-Salinas, S., Brito-Carmona, R. M., & Aparicio-López, J. L. (2023). Community perspective of the fishing activity in El Arenal, Acapulco, Mexico. *Agro Productividad*. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/2562>
- Casarrubias-Jaimez, A. I., Juárez-López, A. L., Rosas-Acevedo, J. L., Reyes-Umaña, M., Rodríguez-Herrera, A. L., & Ramos-Quintana, F. (2021). Feasibility Analysis of the Sustainability of the Tres Palos Coastal Lagoon: A Multifactorial Approach. *Sustainability*, 13(2), 537.
- Conabio, C. N. para el C. y U. de la B. (2025, abril 2). *Portal de Información Geográfica*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://geoportal.conabio.gob.mx/>
- Covarrubias Melgar, F. (2024). Gobernanza para la ciudad: El poder de decisión de los ciudadanos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales-Relacis*, 3(1), 137-149. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10144935>
- Covarrubias Melgar, F., Rodríguez Herrera, A. L., Galán Castro, E. A., Ruz Vargas, M. I., & Reyes Umaña, M. (2022). La participación y gobernanza en la planeación urbana de Acapulco. *Regions and Cohesion*, 12(3), 110-133. <https://www.berghahnjournals.com/view/journals/regions-and-cohesion/12/3/reco120306.xml>
- Espinoza, J. A. R., Marino, C. T. C., García, N. L., Grandez, L. L. G., & Villanueva, M. de la T. (2021). Evaluación microbiológica de carcasas de pollo y ambientes de centros de faenamiento en una provincia de la Amazonía Peruana. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC*, 13(2), 100-113. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v13n2a2>
- Galán Castro, E. A., Juárez López, A. L., Casarrubias Jáimez, A. I., Galán Castro, E. A.,

- Juárez López, A. L., & Casarrubias Jáimez, A. I. (2023). La gestión de residuos en Acapulco, Guerrero. Acercamientos desde la antropología del Estado. *Iztapalapa. Revista de ciencias sociales y humanidades*, 44(94), 193-219. <https://doi.org/10.28928/ri/942023/aot4/galancastroe/juarezlopeza/casarrubiasjaimeza>
- Gobierno del Estado de Guerrero. (2024). *Trámite de Plan de manejo de Residuos Sólidos Urbanos y Residuos de Manejo Especial*. <https://www.guerrero.gob.mx/articulo/tramite-de-plan-de-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-y-residuos-de-manejo-especial/>
<http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/1547>
- Gutiérrez, N. S. N. (2025). Huracán Otis y sus Impactos en Acapulco, Guerrero. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.55467/reder.v9i2.190>
- Herrera-Navarrete, R., Colín-Cruz, A., Arellano-Wences, H. J., Sampedro-Rosas, M. L., Rosas-Acevedo, J. L., & Rodríguez-Herrera, A. L. (2022). Municipal Wastewater Treatment Plants: Gap, Challenges, and Opportunities in Environmental Management. *Environmental Management*, 69(1), 75-88. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01562-y>
- Lima Vargas, Á. E., Sánchez Gallardo, A. M., & Cardona Castaño, J. C. (2025). Destinos turísticos y políticas hídricas: La percepción de la población frente al uso del agua. *Perspectiva Científica*, 2(1), 34-61. <https://doi.org/10.64385/PRDT4105>
- Lorenzana Serna, A., Serrano Barquín, R., Sampedro Rosas, L., Juárez López, A. L., Bedolla Solano, R., & Reyes Umaña, M. (2025). Turismo rural de base comunitaria (TRC) en Puerto Vicente Guerrero: Retos y reflexiones desde las partes interesadas. *REVISTA DELOS*, 18(64). <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n64-060>
- Morales-Ruano, J. V., Reyes-Umaña, M., Sandoval-Vázquez, F. R., Arellano-Wences, H. J., González-González, J., & Rodríguez-Alviso, C. (2022). Flood susceptibility in the lower course of the Coyuca River, Mexico: A multi-criteria decision analysis model. *Sustainability*, 14(19), 12544.
- Moreno, D. A. S., Zona, M. C. L., & Castaño, J. C. C. (2024). Procedimiento para la gestión de microrrutas de residuos sólidos urbanos con recicladores del municipio de Puerto López, Meta (Colombia). *CITAS: Ciencia, innovación, tecnología, ambiente y sociedad*, 10(2), 9. <https://doi.org/10.15332/24224529.10388>
- Perdomo-Marín, J. C. (2025a). La institucionalización del cambio climático en Colombia: Límites de los modelos climáticos y las reparaciones internacionales. *Naturaleza y Sociedad. Desafíos Medioambientales*, 11, 76-101. <https://doi.org/10.53010/nys11.04>
- Perdomo-Marín, J. C. (2025b). Los peligros del climatismo en Colombia. *Novum Ambiens*, 3(1). <https://doi.org/10.31910/nov.amb.v3.n1.2025.2821>
- Rendón-Caro, J. E., Vences-Martínez, J. A., Lungo-Rodríguez, A. J., Rodríguez-Herrera, A. L., Del Carmen-Niño, V., & Morales-Benítez, B. I. (2025). Riesgo socioambiental y categorización de tiraderos a cielo abierto: Socio-environmental risk and categorization

- of open dumps. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 13(1), 40-51.
- Rinker, H. B., Lane, O., Meattley, D., & Regan, K. (2014). *Limpia Guerrero 2013 A Pilot Study of Environmental Contaminants in México* [Dataset].
- Rojas Casarrubias, C., Aparicio López, J. L., Rodríguez Alviso, C., Castro Bello, M., & Villerías Salinas, S. (2025). Community Environmental Leadership and Sustainability: Building Knowledge from the Local Level. *Sustainability*, 17(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/su17083626>
- Velásquez, J., Ocaña, H. E., Rodríguez, G., Villanueva, O., Ramírez, B., & Lavelle, P. (2012). Caracterización socio-económica y productiva de tres tipos de sistemas de producción con bovinos en el piedemonte amazónico colombiano. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC*, 4(1), 13-19.
- Vilchis-Pérez, T. E., Jiménez-Martínez, N. M., & Herrera-Navarrete, R. (2025). Estrategias y retos en el manejo de residuos: Una visión global desde los rankings universitarios. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 8, e479-e479. <https://rias.unesum.edu.ec/index.php/revista/article/view/479>



ÍNDICE DE SOBERANÍA ALIMENTARIA EN MÉXICO, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, ¿AÚN HAY ESPERANZA PARA EL CASO MEXICANO?

Food Sovereignty Index in Mexico Through Principal Component Analysis: Is There Still Hope for the Mexican Case?

Juan Hernández Ortíz²

 <https://orcid.org/0000-0001-5957-594X>

 jhdzo@yahoo.com.mx

Abel Pérez Zamorano²

 <https://orcid.org/0000-0001-7699-9453>

 cemeesabelpz@gmail.com

Alejandro Alberto Miliano²

 <https://orcid.org/0009-0006-8801-1506>

 aalbertom@chapingo.mx

Gerónimo Barrios Puente²

 <https://orcid.org/0000-0002-5285-9445>

 gbarriospuente@gmail.com

Victoria Martínez Martínez¹

 <https://orcid.org/0000-0001-7793-6956>

 vickimamv@gmail.com

¹Estudiante de Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, km.38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, México. C.P. 56230.

²Profesor investigador de la División de Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN

La medición de la Soberanía Alimentaria es fundamental para medir el grado en que una economía puede controlar sus sistemas alimentarios más diversos y sostenibles, sin depender excesivamente del mercado externo. Es crucial para evaluar el acceso, la disponibilidad y la calidad de los alimentos. El objetivo de la presente investigación fue estimar el Índice de Soberanía Alimentaria en México en el periodo de 1995 a 2023. El análisis se realizó utilizando datos del Banco Mundial. Para la construcción se emplearon técnicas de Análisis de Componentes Principales (PCA), a fin de reducir la dimensión de los datos e identificar y agrupar variables claves relacionadas con la Soberanía Alimentaria, se ocuparon 38 variables. A pesar de los programas que se han implementado para alcanzar la Soberanía Alimentaria, su tendencia fue negativa. Así también, para la comparación y validación del resultado, se apoyó de la serie del maíz amarillo y del análisis de Red Neuronal.

PALABRAS CLAVES:

Red Neuronal, estimación, sistema alimentario.

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 17 de Diciembre de 2025 / Fecha Aprobación: 22 de Febrero 2026 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Hernández Ortíz, J., Pérez Zamora, A., Miliano, A. A., Barrios Puente, G. & Martínez Martínez, V.(2026). *Índice de Soberanía Alimentaria en México, a través del análisis de componentes principales, ¿aún hay esperanza para el caso mexicano?*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 62-73. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a4>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 18 Num. 1, enero-junio de 2026

ABSTRACT

The measurement of Food Sovereignty is essential to assess the extent to which an economy can control its most diverse and sustainable food systems without relying excessively on external markets. It is crucial for evaluating food access, availability, and quality. The objective of this research was to estimate the Food Sovereignty Index in Mexico for the period from 1995 to 2023. The analysis was conducted using data from the World Bank. Principal Component Analysis (PCA) techniques were employed to reduce data dimensionality and to identify and group key variables related to Food Sovereignty; a total of 38 variables were used. Despite the programs implemented to achieve Food Sovereignty, the trend was negative. Furthermore, for comparison and validation of the results, the study relied on the yellow corn series and Neural Network analysis.

KEYWORDS

Neural network, estimation, food system.

INTRODUCCIÓN

Se entiende por Soberanía Alimentaria la capacidad de una economía para satisfacer las demandas de su población sin depender excesivamente del comercio internacional, o, como lo definió la Vía Campesina en 1996 y diversos académicos (Martínez & Rosset, 2014); (Edelman, 2024); (McMichel, 2014); (Dekeyser, Korsten y Fioramonte, 2018).

Por su característica multidimensional ha sido estudiado desde diferentes enfoques a nivel local, nacional e internacional (Ningrum & Subroto, 2020; López & Franco, 2015). Es un tema de actualidad al relacionarse directamente con los sistemas alimentarios sostenibles (Byaruhanga & Isgren, 2023, p. 4) y al contemplar algunos objetivos de la Agenda 2030.

En adición, varios autores han realizado propuestas de indicadores y variables para el análisis cuantitativo de este término (Bird Jernigan, 2021; Ruiz-Almeida & Rivera-Ferre, 2019; Levkoe & Blay-Palmer, 2018), etc. Asimismo, la Soberanía Alimentaria en México, se ha analizado mediante variables específicas para su estudio cuantitativo y se ha vinculado teóricamente con la economía institucional (Martínez *et al.*, 2025; Martínez *et al.*, 2024). En este trabajo, la estimación del Índice de Soberanía Alimentaria se realizará mediante el análisis cuantitativo, a partir de algunas variables que han sido recomendadas por los autores antes mencionados, ya que los índices son herramientas cada vez más importantes para el análisis de diferentes fenómenos que afectan a una economía (Stiglitz, Sen, & Fitoussi, 2009).

Así, el índice permitirá evaluar la capacidad de la economía mexicana en producción y acceso a alimentos para satisfacer la demanda, con base en su producción nacional. Un índice mayor de Soberanía Alimentaria reflejaría un país con capacidad de garantizar alimentos para su población y con menor riesgo de sufrir escasez alimentaria, además de mostrar una menor independencia económica, y minimizaría el impacto de las fluctuaciones internacionales de precios.

Por lo tanto, el índice a estimar es clave para conocer la estabilidad, seguridad y resiliencia de un país, a nivel económico, social y desarrollo sostenible a largo plazo.

De acuerdo con las metodologías que se han aplicado para el estudio de este concepto, la presente investigación aplicará el método de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés), para estimar el índice y conocer su evolución en el periodo de 1995 a 2023. Para la comparación y validación del resultado, se apoyará en la serie del maíz amarillo y del análisis de Red Neuronal.

La finalidad del estudio es estimar el Índice de Soberanía Alimentaria en México en el periodo de 1995 a 2023, para responder a la pregunta ¿Aún es alcanzable la Soberanía Alimentaria en México?

MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación se estimó el Índice de Soberanía Alimentaria a partir de 38 variables. Se utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA), por sus siglas en inglés, para reducir la dimensionalidad de datos y mejorar la calidad (*performance*) de la segmentación (Méneses, 2019). Es decir, consiste en simplificar los datos originales con una pérdida mínima de dispersión global, a fin de reducir la dimensionalidad en la que se representan los datos (Gewers *et al.*, 2018).

De manera precisa, según Hastie *et al.*, (2017), los componentes principales de un conjunto de datos en \mathbb{R}^p ofrecen una serie de las mejores aproximaciones lineales a los datos de todos los rangos $q \leq p$, donde p es el número de variables. De modo que, el mejor modelo lineal de rango q viene dado por la siguiente ecuación.

$$f(\lambda) = \mu + V_q \lambda$$

Donde, μ es un vector de ubicación en \mathbb{R}^p , V_q es una matriz $p \times q$ con q vectores unitarios ortogonales como columnas, y λ es un vector q de parámetros. Los parámetros son estimados por el método de mínimos cuadrados ordinarios (Hastie *et al.*, 2017).

Y a fin de evitar el sesgo asociado a las distintas unidades de medida y mejorar la precisión de los resultados, se estandarizaron las variables en la aplicación del análisis de componentes principales (PCA) (Gewers *et al.*, 2018). Los datos utilizados proceden del Banco Mundial; la fuente proporcionó información de 1995 a 2023, de 38 variables (véase Tabla 1)

Para la validación de datos se aplicó el análisis a través de la Red Neuronal y comparación con la importación del maíz amarillo.

Resultados y discusión

Se emplearon variables continuas estandarizadas de 38 variables (véase Tabla 1). Para asegurar que la base de datos fuera apropiada para el análisis de componentes principales (PCA), se utilizó la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), la cual evalúa la idoneidad de los datos en función de la proporción de varianza compartida entre las variables seleccionadas.

El KMO varía entre cero y uno; valores mayores a 0.50 son deseables y no indican problemas; el valor de la prueba resultó ser de 0.63 (véase Tabla 2).

En la realización del Análisis de Componentes Principales (PCA), se ocuparon variables continuas estandarizadas. Para evitar problemas de alta colinealidad se limpiaron los datos (véase Figura 1).

Después de la limpieza de los datos, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre las variables estandarizadas relacionadas con la Soberanía Alimentaria. El análisis reveló que las tres primeras componentes principales explican conjuntamente más del 83% de la varianza total del sistema de variables, lo cual indica una representación adecuada de la información original (Véase Figura 2).

La Figura 2 mostró cómo los primeros tres componentes tienen eigenvalores altos, y luego el valor cae muy rápido. La línea roja punteada en $\text{eigenvalor}=1$ mostró que después de PC3 los componentes ya no aportan tanto valor. Y la línea verde punteada muestra el corte ideal en la PC4, confirmando que las primeras 3 componentes (PC1, PC2 y PC3) son las que se conservaron para el análisis posterior (véase Tabla 3).

La Tabla 3, mostró que los primeros componentes son los más importantes, PC1 tiene un eigenvalor de 8.4344, lo que explica el 52.71% de toda la varianza, PC2 tiene un eigenvalor de 3.4275, explicando un 21.42% adicional y PC3 explica otro 9.42%. Sumando PC1 + PC2 + PC3 se tiene 83.56% de la varianza total explicada, una proporción acumulada de 0.8356.

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados, la desviación estándar (Estándar deviation), mide la dispersión de los datos en ese componente. Cuanto mayor es la desviación estándar, mayor es la variabilidad explicada por ese componente. En este caso, PC1 tiene la mayor desviación estándar (2.9024), lo que indica que este componente explica una cantidad significativa de la variabilidad en los datos.

La proporción de varianza, mostró el porcentaje de la varianza total de los datos explicada por cada componente, es decir, el PC1 explicó el 52.72% de la varianza total en los datos, mientras que PC2 explica el 21.42% lo cual es considerable. El resto de los componentes no fueron significativas.

La proporción acumulada de varianza mostró la cantidad total de varianza explicada a medida que se añaden componentes. Por lo tanto, se necesitó de tres componentes para capturar una proporción significativa de la varianza: PC1 + PC2 + PC3 explican el 83.56% de la varianza. Con los primeros 7 componentes, se explica aproximadamente el 96.78% de la varianza total.

En la Tabla 4 se presentan los eigenvectores resultantes de PCA, los cuales relacionan el valor de cada componente como una combinación lineal de las variables utilizadas. Por lo tanto, el componente 1 está influido por acceso a servicios, propiedad y desigualdad de actividad económica; el componente 2 se concentra en accesos y productividad agrícola, y el componente 3 reflejó fuerte influencia por acceso a alimento e ingreso.

El índice mostró tendencia descendente, una pérdida sostenida de Soberanía Alimentaria; por ejemplo, en 1995, el índice estuvo por encima de 3%, y para 2023 bajó a (-2%) (véase Figura 3).

Por ejemplo, entre 1995 y 2002, el índice mostró un descenso rápido; como probable

consecuencia de cambios en políticas agrícolas, reducción de subsidios al campo como lo mencionó Carrera y Hernández (2022), o podría deberse a los impactos de la implementación del TLCAN, tratado que entró en vigor en 1994; por ejemplo, las importaciones de arroz han aumentado desde apertura comercial en México (González y Abelardo, 2023); (Cruz *et al.*, 2021).

En cuanto a las variables consideradas, se seleccionaron aquellas que mostraron una alta relación con la Soberanía Alimentaria, tal como también lo evidenciaron (Martínez, *et al.*, 2025).

De acuerdo con el índice estimado mediante el modelo de redes neuronales, la tendencia del índice también fue negativa continua. Paralelamente, el incremento sostenido en las importaciones de maíz amarillo reflejó una creciente dependencia del exterior para satisfacer la demanda interna, lo cual evidencia un debilitamiento progresivo de la Autosuficiencia Alimentaria. En ese sentido, Jaime (2024) evidenció que “en una década (2012-2013 a 2021 a 2022), las importaciones de maíz amarillo aumentaron en un 320% (de 5,076 toneladas a 16,290 toneladas)”, mientras que “el consumo de la industria pecuaria creció en 310% (de 5,026 a 15,584)” (Jaime, 2024).

CONCLUSIÓN

Después del análisis se concluye que la tendencia del Índice de Soberanía Alimentaria en México es descendente continua, con caídas marcadas entre 1995 y 2002 y entre 2015 y 2023, lo que reflejó el retiro de apoyos al campo, apertura de importaciones agrícolas, así como también la profundización de la dependencia alimentaria, de decir, pérdida de autonomía alimentaria, lo que refleja que el país ha disminuido la capacidad de producir y controlar sus propios alimentos.

Por lo tanto, el estudio evidenció pérdida progresiva del control sobre el sistema alimentario; el país no tiene Autosuficiencia Alimentaria, importa más del 40% de sus alimentos básicos incluidos maíz amarillo, arroz, trigo y soya.

Esta situación pone en entredicho la eficacia de las políticas actuales en materia agroalimentaria; por lo tanto, se requiere con urgencia la formulación e implementación de estrategias integrales que fortalezcan la producción nacional, modernicen la infraestructura agrícola y reduzcan estructuralmente la vulnerabilidad del país frente a las fluctuaciones del mercado internacional.

Tablas del apéndice

Tabla 1.
VARIABLES EMPLEADAS EN EL ESTUDIO.

Variable	Tipo	Descripción
RTRN	Continua	Rentas totales de los recursos naturales (% del PIB)
TC	Continua	Tierras cultivables (% del área de tierra)
DTP	Continua	Disposición de tierra de per cápita
TA	Continua	Tierra agrícola (% del área de tierra)
ACCB(HA)	Continua	Área cosechada Cereales Básicos (ha)
SA(ha)	Continua	Superficie agrícola (ha)
TUPC(ha)	Continua	Tierra utilizada para la producción de cereales (hectáreas)
TCHP	Continua	Tierras cultivables (ha por persona)
TCP	Continua	Tierras destinadas al cultivo de manera permanente (% del área de tierra)
ADPC	Continua	Recurso de Agua Dulce internos renovables per cápita (metros cúbicos)
HO	Continua	Extracción anual de agua dulce para uso agrícola (% del total de extracción de agua dulce)
STA(ha)	Continua	Superficie Tierras Agrícolas
STC(ha)	Continua	Superficie Tierra Cultivada
STAR(ha)	Continua	Superficie Tierra arable
SPPP(ha)	Continua	Superficie Praderas y Pastizales Permanentes
SCP(ha)	Continua	Superficie Cultivo Permanente
PR	Continua	Población rural (% de la población total)
MO	Continua	Trabajadores en agricultura (% de total PEA)
CFTC	Continua	Consumo de fertilizantes (kilogramos por hectárea de tierras cultivables)
IP	Continua	Índice de producción de alimentos (2004-2006 = 100)
PC	Continua	Producción de cereales (toneladas métricas)
EAON	Continua	Emisiones agrícolas de óxido nitroso (miles de toneladas métricas de equivalente de CO2)
AVA	Continua	Agricultura, valor agregado (% del PIB)
E	Continua	Exportaciones de alimentos (% de exportaciones de mercaderías)
M	Continua	Importaciones de alimentos (% de importaciones de mercaderías)
ASPIB	Continua	Agricultura, silvicultura y pesca, valor agregado (% del PIB)
RC	Continua	Rendimiento de los cereales (kg por hectárea)
ABT	Continua	Alimentos, bebidas y tabaco (% del valor agregado en la industrialización)
IPAA	Continua	Índice de producción agrícola (2014-2016 = 100)
IPC	Continua	Índice precios al consumidor
InPC	Continua	Inflación, precios al consumidor (% anual)
PD	Continua	Prevalencia de desnutrición (% de la población)
Pob	Continua	Crecimiento de la población (% anual)
IPA	Continua	Ingreso Promedio Anual
LPEI	Continua	Línea de Pobreza Extrema por Ingresos
GPA	Continua	Gasto promedio para la Agricultura

Fuente: Elaboración propia con definiciones del Banco Mundial.

Cuadro 2.

MSA (Measure of Sampling Adequacy) individuales.

RTRN	ACCB	TCP	HO	STC	SPPP	PC	E	AVA	ABT	M	DA	PD	InPC	IPA	GPA
0,32	0,6	0,63	0,81	0,77	0,79	0,8	0,54	0,44	0,53	0,12	0,53	0,8	0,54	0,72	0,75

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (1995-2023).

Tabla 3.

Eigenvalores del análisis de componentes principales.

Componente	Eigenvalor	% Varianza (Proporción)	% Acumulado
PC1	8,4344	52,71%	52,71%
PC2	3,4275	21,42%	74,14%
PC3	1,5077	9,42%	83,56%
PC4	0,7741	4,84%	88,40%
PC5	0,5711	3,57%	91,97%
PC6+	0,4206	poco relevantes	—

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.

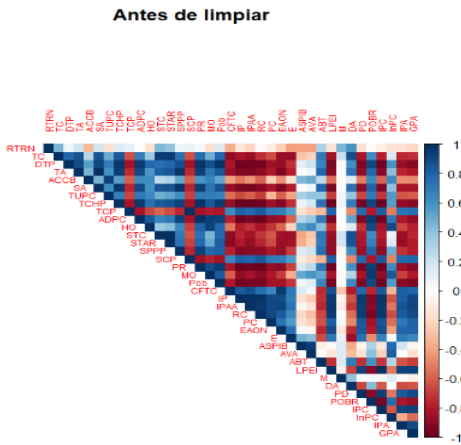
Eigenvectores del análisis de componentes principales.

	PC1	PC2	PC3
RTRN	0,06933904	-0,375552553	0,397596405
ACCB	0,18510567	0,29130983	-0,026955467
TCP	-0,27921605	-0,120600132	0,143621193
HO	0,25711396	0,314193209	0,060196165
STC	0,28868119	-0,249274665	0,003381802
SPPP	0,31109227	0,030910615	-0,101044158
PC	-0,2939732	-0,058433992	0,062560838
E	-0,25922315	0,292468	0,21836057
AVA	0,05646085	0,470344551	0,28546248
ABT	0,26350945	-0,132533708	0,090036107
M	0,03012309	-0,099443467	0,746307438
DA	0,24820457	-0,324882565	0,165759133
PD	-0,33133268	-0,009123885	0,060641446
InPC	0,19138761	0,389992726	0,258294426
IPA	-0,30948924	0,044313638	0,101623014
GPA	-0,32526075	-0,020580992	-0,018880642

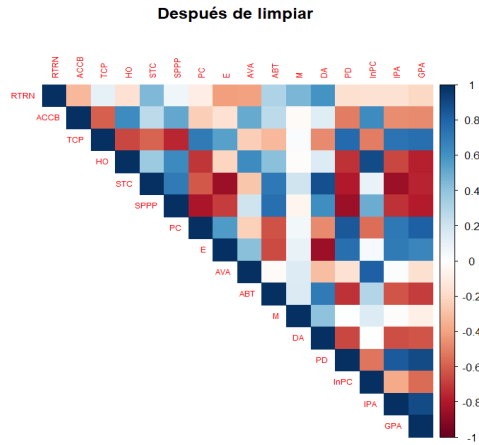
Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (1995-2023).

Figura 1.
Limpieza de datos antes de PCA.

Antes de limpiar

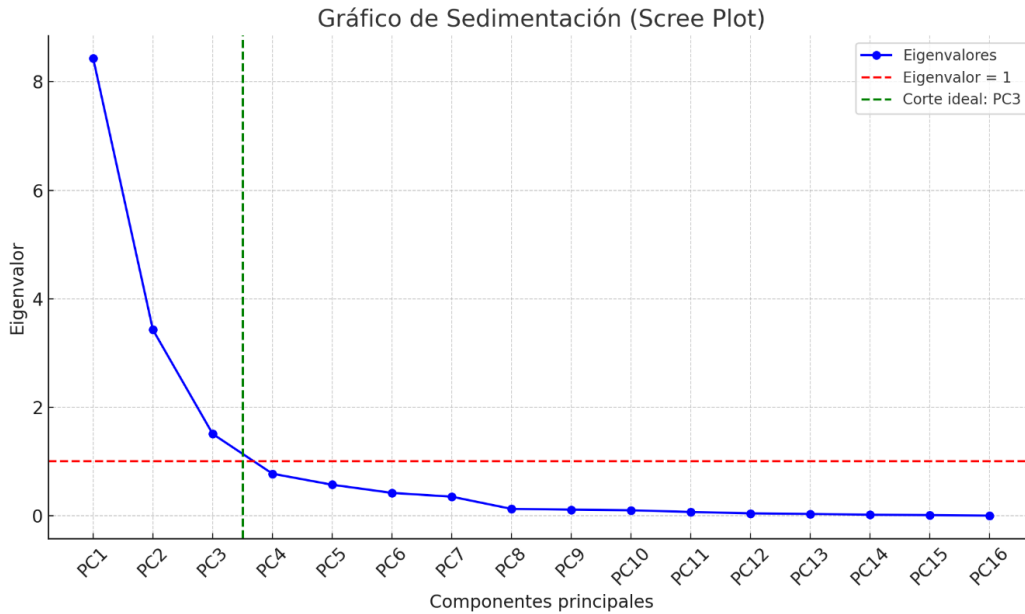


Después de limpiar



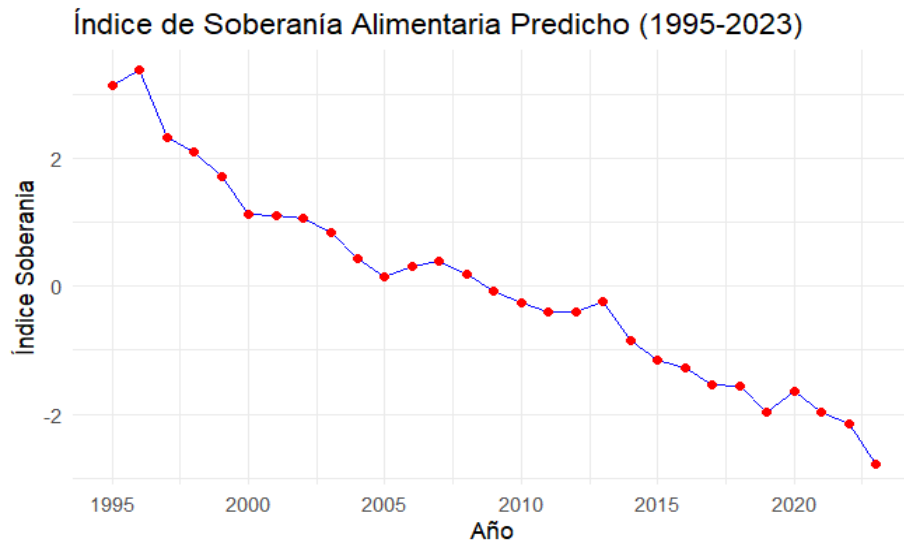
Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (1995-2023), en apoyo de RStudio.

Figura 2.
Componentes Principales que explican más del 80% de la varianza total del sistema de variables.



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (1995-2023).

Figura 3.
Índice de Soberanía Alimentaria (1995-2023).



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

Figura 4.
Comparación del Índice de Soberanía Alimentaria (SA) e importaciones del maíz amarillo (MM) en México.



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (1995-2023).

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca doctoral otorgada al autor de correspondencia.

REFERENCIAS

- Bird Jernigan Valarie Blue, Maudrie Tara L., Nikolaus Cassandra Jean, Benally Tia, Johnson Selisha , Teague Travis , Mayes Melena , Jacob Tvli , Taniguchi Tori. (2021). Food Sovereignty Indicators for Indigenous Community Capacity Building and Health. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Vol. 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.704750>
- Byaruhanga, R., Isgren, E. (2023). Rethinking the Alternatives: Food Sovereignty as a Prerequisite for Sustainable Food Security. *Food ethics* 8, 16. <https://doi.org/10.1007/s41055-023-00126-6>
- Carrera Rodriguez, B. J., & Hernandez Hernandez, A. C. (2022). de procampo a proagro productivo: la promesa de transformación del sector agrícola rural. *rd-icuap*, 8(24), 14–24. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2022.24.981>
- Cruz Herrera, K. L., Valdivia Alcalá, R. , Martínez Damián, M. Ángel ., & Contreras Castillo, J. M. . (2021). Autosuficiencia Alimentaria en México: precios de garantía versus pagos directos al productor. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 12(6), 981–990. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2533>
- Dekeyser, Koen, Korsten, Lise & Fioramonte, Lorenzo (2018). Food Sovereignty: Shifting Debates on Democratic Food Governance. *Food Security*, 10 (1), 223-233.
- Edelman, Marc (2014). Food Sovereignty: Forgotten Genealogies and Future Regulatory Challenges. *Journal of Peasant Studies*, 41 (6), 959-978.
- Gewers, F.; Ferreira; G.; De Arruda, H.; Silva, F.; Comin, C.; Amancio, D. & Costa, L. (2021). Principal Component Analysis: A Natural Approach to Data Exploration. *ACM Computing Surveys* 54 (4): pp 1–34.
- González-Bejarano, Diego Abelardo. (2023). Producción alimentaria y población en el contexto de crisis sanitaria: el caso de México y la entidad mexiquense 1980-2021. *Papeles de población*, 29(117), 127-180. Epub 04 de febrero de 2025. <https://doi.org/10.22185/24487147.2023.117.23>
- Hastie, T.; Tibshirani, R. & Friedman, J. (2009). Unsupervised Learning. En Springer Ed. (2nd edition) *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*.
- Levkoe, Charles Z. & Blay-Palmer, Alison (2018). Food Counts: Food Systems Report Cards, Food Sovereignty and the Politics of Indicators. *Canadian Food Studies*, 5(3), 49-75.
- López-Giraldo, LA., y Franco-Giraldo, Á. (2015). Revisión de enfoques de políticas alimentarias: entra la seguridad y la Soberanía Alimentaria (2000-2013). *Cadernos de Saúde Pública*, 317(7), 1355-1369. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00124814>

- MARTÍNEZ-TORRES, María Elena & ROSSET, Peter M. (2014). Diálogo de saberes en La Vía Campesina: Soberanía Alimentaria y agroecología. *The Journal of Peasant Studies*, (41), 979-997.
- MCMICHAEL, Philip (2014). Historicizing Food Sovereignty. *The Journal of Peasant Studies*, 41 (6), 933-957.
- Méneses, J. (2019). Introducción al análisis multivariante. Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado en <https://femrecerca.cat/meneses/publication/introduccion-analisis-multivariante/>
- Ningrum, V.; Subroto, A (2020). Do the state and market affect the farmer's sovereignty? Study of organic agriculture in Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing: Bristol, UK; Volume 436, p. 012011. DOI:10.1088/1755-1315/436/1/012011 [Google Scholar]
- Ruiz-Almeida, Adriana & Rivera-Ferre, Marta Guadalupe (2019). Internationally- Based Indicators to Measure Agri-Food Systems Sustainability Using Sovereignty as a Conceptual Framework. *Food Security*, (11), 1321-1337.
- Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J.-P. (2009). Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress.
- Martínez Martínez, V., Pérez Zamorano, A., Hernández Ortiz J., & Barrios Puente, G. (2025). Soberanía Alimentaria en México: un análisis comparativo de sus determinantes. (2025). *Revista Facultad De Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC*, 17(1), 7-27. <https://doi.org/10.47847/>
- Martínez Martínez, V., Pérez Zamorano, A., Hernández Ortiz J., Esteban Macías, J., & Barrios Puente, G. (2024). El papel de las instituciones en la Soberanía Alimentaria: un enfoque de economía institucional en los programas sociales en México. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 4(11), 1-17. <https://doi.org/10.53595/rlo.v4.i11.106>



EFFECTOS ECONÓMICOS DE LA SEQUÍA EN EL DR011 ALTO RÍO LERMA, GUANAJUATO, MÉXICO

Economic effects of drought in DR011 Alto Río Lerma, Guanajuato, Mexico

Efeitos econômicos da seca em DR011 Alto Río Lerma, Guanajuato, México

Fernando Dámaso Fuentes López¹

 <https://orcid.org/0000-0002-5568-6500>

 fd Fuentes@gmail.com

Ramón Valdivia Alcalá¹

 <https://orcid.org/0000-0003-0434-3169>

 rvaldiviaa@chapingo.mx

Juan Hernández Ortíz¹

 <https://orcid.org/0000-0001-5957-594X>

 jhernandez@chapingo.mx

Juanita Japheth Valdivia Cabral²

 <https://orcid.org/0000-0003-0445-1880>

 juanitavaldiviac@gmail.com

¹Dr. Posgrado de la División de Ciencias Económico-Administrativas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 01(595) 9521500, ext. 1665; (FDFL); (RVA), (JHO).

²Dra. Universidad Autónoma de Zacatecas Av. Ramón López Velarde #117 Int. B, C.P. 98000, Zacatecas

RESUMEN

El Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, enfrenta una creciente escasez hídrica que compromete la sostenibilidad y rentabilidad agrícola, lo que motiva la búsqueda de estrategias de manejo eficiente del agua. Pregunta de investigación ¿Cómo afectan reducciones progresivas en la disponibilidad de agua la asignación de cultivos, los ingresos agrícolas y la productividad económica del agua en los módulos Salvatierra y Cortazar del DR011 durante el ciclo 2021–2022? El objetivo fue analizar el impacto económico de reducciones progresivas en la disponibilidad de agua sobre la asignación óptima de cultivos y estimar la productividad económica del agua en los módulos Salvatierra y Cortazar del DR011 para el ciclo agrícola 2021–2022, utilizando programación lineal, complementado con análisis de sensibilidad local. La hipótesis planteó que, ante reducciones progresivas en la disponibilidad hídrica, los precios sombra del agua aumentarán significativamente y las asignaciones óptimas de superficie y los ingresos totales se modificarán de forma cuantificable. Los resultados indican que la reasignación óptima del agua modifica los patrones de cultivo, reduce la superficie sembrada, los ingresos en los escenarios de mayor escasez y, la producción agrícola agregada; asimismo, los precios sombra estimados exceden ampliamente la tarifa agrícola vigente, evidenciando una subvaloración del recurso, reflejando su relevancia como recurso limitado y estratégico en la producción. Se concluye que incorporar la valoración marginal del agua en el diseño tarifario y priorizar cultivos con mayor productividad hídrica puede mejorar eficiencia y sostenibilidad. Limitaciones: el estudio se basa en datos agregados por cultivo y módulo.

PALABRAS CLAVES:

Agricultura De Riego, Asignación Óptima De Recursos, Precio Sombra Del Agua, Productividad Agrícola, Programación Matemática

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 11 de Noviembre de 2025 / Fecha Aprobación: 13 de Marzo 2026 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Fuentes López, F. D., Valdivia Alcalá, R., Hernández Ortíz, J. & Valdivia Cabral J. J. (2026). *Efectos económicos de la sequía en el DR011 Alto Río Lerma, Guanajuato, México*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 74-98. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a5>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 18 Num. 1, enero-junio de 2026

ABSTRACT

Irrigation District 011 Alto Río Lerma Guanajuato faces increasing water scarcity that compromises agricultural sustainability and profitability, motivating the search for efficient water management strategies. Research Question: How do progressive reductions in water availability affect crop allocation, agricultural income, and the economic productivity of water in the Salvatierra and Cortazar modules of DR011 during the 2021–2022 growing season? The objective was to analyze the economic impact of progressive reductions in water availability on optimal crop allocation and estimate the economic productivity of water in the Salvatierra and Cortazar modules of DR011 for the 2021–2022 growing season, using linear programming, complemented by local sensitivity analysis. The hypothesis stated that, with progressive reductions in water availability, shadow water prices would increase significantly, and optimal land allocations and total income would change in a quantifiable way. The results indicate that optimal water reallocation modifies cropping patterns, reduces planted area, lowers income in the most water-scarce scenarios, and decreases overall agricultural production. Furthermore, the estimated shadow prices significantly exceed the current agricultural tariff, demonstrating an undervaluation of the resource and reflecting its importance as a limited and strategic resource in production. It is concluded that incorporating the marginal valuation of water into tariff design and prioritizing crops with higher water productivity can improve efficiency and sustainability. Limitations: The study is based on aggregated data by crop and module.

RESUMO

O Distrito de Irrigação 011 Alto Río Lerma enfrenta uma crescente escassez hídrica que compromete a sustentabilidade e a rentabilidade da agricultura, motivando a busca por estratégias eficientes de gestão da água. Pergunta de pesquisa: Como as reduções progressivas na disponibilidade de água afetam a alocação de culturas, a renda agrícola e a produtividade econômica da água nos módulos Salvatierra e Cortazar do DR011 durante a safra 2021–2022? O objetivo foi analisar o impacto econômico das reduções progressivas na disponibilidade de água sobre a alocação ótima de culturas e estimar a produtividade econômica da água nos módulos Salvatierra e Cortazar do DR011 para a safra 2021–2022, utilizando programação linear, complementada por análise de sensibilidade local. A hipótese era de que, com as reduções progressivas na disponibilidade de água, os preços da água na sombra aumentariam significativamente e as alocações ótimas de terra e a renda total sofreriam alterações quantificáveis. Os resultados indicam que a realocação ótima da água modifica os padrões de cultivo, reduz a área plantada, diminui a renda nos cenários de maior escassez hídrica e reduz a produção agrícola total. Além disso, os preços sombra estimados excedem significativamente a tarifa agrícola atual, demonstrando uma subvalorização do recurso e refletindo sua importância como um recurso limitado e estratégico na produção. Conclui-se que a incorporação da valoração marginal da água na elaboração de tarifas e a priorização de culturas com maior produtividade hídrica podem melhorar a eficiência e a sustentabilidade. Limitações: O estudo baseia-se em dados agregados por cultura e módulo.

KEYWORDS

Irrigated Agriculture, Optimal Resource Allocation, Shadow Price Of Water, Agricultural Productivity, Mathematical Programming

PALAVRAS CHAVE

Agricultura Irrigada, Alocação Ótima De Recursos, Preço Sombra Da Água, Produtividade Agrícola, Programação Matemática.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso estratégico para el desarrollo humano, ambiental, social y económico que enfrenta desafíos significativos en su gestión y asignación (IMCO, 2023; UNESCO, 2020; CEDRSSA, 2016; OCDE, 2012; ONU, 1992). La advertencia del Foro Económico Mundial (WEF, 2023) sobre la posibilidad de una policrisis global para el año 2030, con una brecha estimada del 40% entre la oferta y la demanda de agua, destaca la urgencia de abordar esta problemática. Asimismo, el Banco Mundial (2024) señala que la escasez del agua es uno de los principales riesgos para el progreso económico, la erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible.

El estrés hídrico y la contaminación del agua dulce han agravado la escasez global de agua, potenciada por el cambio climático y la creciente competencia entre los diferentes usos (ONU, 2023; WEF, 2023). Este problema se magnifica en el ámbito agrícola, que consume aproximadamente el 70% del agua extraída a nivel mundial, llegando hasta el 95% en algunos países en desarrollo, lo que plantea serios desafíos de sostenibilidad y rentabilidad (ONU, 2022a; ONU, 2022b; ONU, 2021; FAO, 2021; FAO, 2020; UNESCO, 2019).

La FAO (2013) enfatiza la importancia de gestionar la demanda mediante la mejora en la eficiencia y la reasignación de recursos, especialmente ante el incremento esperado del 34% en la extensión de tierras de riego para 2030. A su vez, el Banco Mundial (2024) prevé que para 2050 será necesario aumentar la producción agrícola en un 60% y las extracciones de agua en un 15% para poder alimentar a una población de nueve mil millones de personas, meta que se logrará mejorando la productividad del agua.

Según la OCDE (2023), se proyecta que el crecimiento de la producción agrícola mundial sea apenas del 1,1% anual en la próxima década, una tasa considerablemente más baja en comparación con décadas anteriores, en gran parte debido a la desaceleración en el crecimiento de la productividad. Además, anticipan que la rentabilidad de los productos agrícolas se verá presionada por la tendencia a la baja en los precios internacionales de las materias primas, el menor crecimiento demográfico y el aumento en los costos de producción, impulsado por el alza en los precios de la energía, fertilizantes y los conflictos bélicos. En México se manifiestan de manera clara varios de estos problemas, ya que una parte importante del territorio nacional tiene condiciones de aridez y las sequías de los últimos años han dejado muchas presas en sus niveles más bajos, lo que ha provocado que en varios distritos de riego solo se siembre un ciclo agrícola.

En este contexto, el estado de Guanajuato enfrenta serios desafíos debido a la escasez de agua y la sobreexplotación de acuíferos (IMCO, 2023; IMTA, 2022; CONAGUA, 2020). La región ocupa el segundo lugar a nivel nacional con estrés hídrico extremo, donde el 83% del agua se destina a uso agrícola (IMCO, 2023; WRI, 2023a, WRI, 2023b) y el 80% de las extracciones de acuíferos se orientan a este sector (CONAGUA, 2024). Esta sobreexplotación de los acuíferos amenaza la viabilidad económica del Distrito de Riego 011 (DR011), donde el 90% de ellos, incluidos los de Salvatierra-Acámbaro y Valle de Celaya, están sobreexplotados, con déficits anuales de 27,9 y 156,5 hm³ respectivamente (CONAGUA, 2024; DOF, 2023a; CONAGUA, 2022; IPLANEG, 2019; SEMARNAT, 2018).

En muchos países las tarifas del agua para el sector agrícola son más bajas que las de los sectores doméstico e industrial, lo que resulta en una subvaloración del recurso y solo cubre parcialmente los costos operativos y de infraestructura (OCDE, 2013). Como resultado, las tarifas en el sector agrícola no reflejan el verdadero valor del recurso, ni siguen completamente los principios de la teoría económica, lo que contribuye a su uso ineficiente (Young, 2005).

Aunque la Ley de Aguas Nacionales en México (DOF, 2023b) establece el cobro por el exceso de agua utilizada en la agricultura, las tarifas representan apenas una fracción de las vigentes en otros sectores económicos. Esto refleja una gestión deficiente y una falta de consideración de la escasez y del grado de presión hídrica, particularmente en las regiones centro, norte y noroeste del país (CONAGUA, 2023).

Adicionalmente, el bajo nivel de recuperación de los costos de riego se refleja en que, en el año 2020, los ingresos por derechos de riego constituyeron menos del 2% del total recaudado por la Comisión Nacional del Agua por derechos, aprovechamientos y otros conceptos, y la recaudación específica por derechos de uso agrícola apenas alcanzó el 0,02% de los ingresos totales por aprovechamiento de aguas nacionales, cifras claramente insuficientes para cubrir los costos operativos del suministro de agua (CEDRSSA, 2021).

El DR011, es el de mayor extensión y de mayor volumen de agua concesionado en la cuenca Lerma-Chapala (CONAGUA, 2021; Levine, 2007). Además, presenta una eficiencia global en el uso del agua de apenas el 48% (Ángeles, 2015), acentuada por el aumento de usuarios y por extracciones insostenibles (Flores-Casamayor et al., 2020). Estas dinámicas han generado dificultades en la distribución del recurso, afectando la sostenibilidad de la región (Peniche-Camps, 2020), comprometiendo la viabilidad económica de pilares productivos como los Módulos de Riego Salvatierra y Cortazar.

La escasez de agua observada en los últimos ciclos ha limitado la producción y los ingresos de los agricultores, así como el bienestar de la población dependiente de la agricultura (Peniche-Camps, 2020; Rodríguez-Flores et al., 2019). Los informes del DR011 muestran que, respecto al ciclo agrícola 2018-2019, la disponibilidad de agua superficial cayó un 11% en 2019-2020 y un 61% en 2020-2021, con reducciones de la superficie cultivada del 6% y del 24%, respectivamente, derivado de que los productores limitaron la siembra a un solo ciclo.

Dentro de las herramientas teóricas para evaluar la productividad del agua, el precio sombra constituye un indicador central. Obtenido como el valor dual de la restricción hídrica en modelos de optimización, representa la valoración económica marginal del recurso (Young y Loomis, 2014; Norton y Hazell, 1986). Conceptualmente, el precio sombra equivale al incremento en el beneficio total del sistema productivo al disponer de una unidad adicional de agua y refleja el costo de oportunidad asociado a su uso actual, especialmente cuando las tarifas agrícolas no internalizan la escasez (Ward y Pulido-Velazquez, 2008; Young, 2005); por ello, estimar y verificar empíricamente estos valores es esencial para diseñar tarifas y medidas de asignación que incentiven usos más eficientes.

Si bien trabajos previos han aplicado programación matemática en el DR011 (Botello-Aguillón et al., 2022; Rodríguez-Flores et al., 2019; Ramírez-Barraza et al., 2019; Florencio-Cruz et al., 2002) y en otras regiones como en el DR 003 Tula, Hidalgo (Hernández-Pérez et al., 2025), persiste incertidumbre sobre cómo reducciones progresivas en la disponibilidad hídrica afectan asignaciones, ingresos y el precio sombra del agua. Este estudio contribuye estimando precios sombra y analizando su comportamiento mediante análisis de sensibilidad local y escenarios contrafactuales de escasez, con el fin de ofrecer evidencia operativa útil para la gestión y la definición de políticas tarifarias.

La Pregunta de investigación que orienta el estudio es ¿Cómo afectan reducciones progresivas en la disponibilidad de agua la asignación de cultivos, los ingresos agrícolas y la productividad económica del agua en los módulos Salvatierra y Cortazar del DR011 durante el ciclo 2021–2022?

El objetivo fue analizar el impacto económico de reducciones progresivas en la disponibilidad de agua sobre la asignación óptima de cultivos y estimar la productividad del agua en los módulos Salvatierra y Cortazar durante el ciclo agrícola 2021–2022. Se plantea la hipótesis de que, ante reducciones progresivas en la disponibilidad hídrica, los precios sombra aumentarán significativamente y las asignaciones óptimas de superficie y los ingresos totales se modificarán de forma cuantificable; los precios sombra estimados constituyen la evidencia empírica para contrastar dicha hipótesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio es un ejercicio cuantitativo de modelación económica-optimización entendida como un enfoque que combina principios de la teoría microeconómica con técnicas de programación matemática para representar decisiones productivas bajo restricciones progresivas en la disponibilidad hídrica, que modifican el patrón de cultivos, los ingresos agrícolas y la productividad del agua en dos módulos representativos del DR011. En este contexto, la modelación permite simular el comportamiento de los productores agrícolas, quienes asignan tierra y agua entre distintos cultivos con el objetivo de maximizar el beneficio económico neto. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en estudios de asignación eficiente del agua en distritos de riego y cuencas agrícolas, al permitir integrar criterios económicos y físicos en contextos de escasez hídrica.

La formulación maximiza el beneficio neto total y combina la solución óptima con análisis de sensibilidad local. Para responder la pregunta de investigación, el modelo y los escenarios permiten cuantificar asignaciones de agua y precios sombra que aportan la evidencia empírica para contrastar la hipótesis, mientras que el análisis de sensibilidad local documenta la validez puntual de los duales en cada ejecución y detecta puntos de quiebre relevantes para la interpretación de resultados.

Área de estudio

Dentro de la Cuenca VIII Lerma-Santiago-Pacífico se ubica el DR011 Alto Río Lerma que emplea agua superficial que proviene del sistema de presas Tepuxtepec-Solís, la Laguna

de Yuriria y Presa La Purísima, además de 2 173 pozos (IPLANEG, 2019). El análisis se centra en dos módulos de este distrito, Salvatierra (M02) y Cortazar (M05) La codificación corresponde a la designación oficial utilizada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para estas subdivisiones administrativas en los distritos de riego, denominadas módulos, que agrupan unidades de riego con infraestructura y gestión operativa común y sirven como unidad administrativa para la planificación y seguimiento del suministro hídrico. La administración local de cada módulo recae en las Asociaciones de Usuarios del Agua. Su consideración permite analizar heterogeneidades en infraestructura, disponibilidad de agua y aspectos productivos, lo que hace a los módulos particularmente sensibles a las ineficiencias del sistema (Figura 1).

Estos módulos fueron seleccionados por su relevancia económica regional, la disponibilidad de datos para el ciclo 2021–2022, y por su representatividad en términos de superficie cultivada y demanda de agua; en conjunto representan el 26% de la demanda total de agua que abastecen el 38% de la superficie de riego sembrada y corresponden al 26% de los usuarios del distrito, así como por su heterogeneidad productiva, que permite evaluar la sensibilidad de asignaciones frente a restricciones hídricas, equivalentes a escenarios de sequía.

Datos y fuentes

Los datos proporcionados por personal del DR011 constituyen los principales parámetros de entrada del modelo, correspondientes al ciclo agrícola 2021–2022 (Tabla 1), e incluyen patrón de cultivos, superficies sembradas (ha), volúmenes de agua asignados por cultivo diferenciando agua superficial y subterránea (dam^3/ha), rendimientos (ton/ha), precios medios rurales (\$/ton) y costos de producción (\$/ton). Para contextualizar los escenarios se empleó la serie histórica de disponibilidad hídrica de la CONAGUA de 1999–2000 a 2021–2022 (Tabla 2). Los precios netos empleados en la función objetivo se calcularon por cultivo como el ingreso bruto menos los costos de producción, excluyendo la cuota de agua, la cual se trató como un parámetro exógeno en el modelo.

Los cultivos incluidos en el modelo abarcan más del 95% de la superficie sembrada en el ciclo 2021-2022 y se agrupan en cuatro categorías: otoño-invierno (OI), primavera-verano (PV), perennes (PRN) y segundos cultivos (2C). En total, se consideraron 17 cultivos que el modelo considera como actividades para el módulo Salvatierra y 14 para el módulo Cortazar, como se detalla en la Tabla 1.

Modelo teórico

El modelo teórico que sustenta este estudio se basa en el enfoque de optimización económica para la asignación eficiente de recursos agrícolas bajo restricciones, propuesto originalmente por Norton y Hazell (1986). Este marco formaliza un problema de programación matemática que integra restricciones físicas (tierra y agua) con criterios económicos (precios, costos y beneficios), permitiendo estimar asignaciones óptimas y valores duales (precios sombra) del recurso hídrico. La metodología ha mostrado amplia

aplicabilidad en estudios recientes sobre asignación de agua y evaluación de impactos de sequía, entre ellos Rodríguez-Flores et al. (2019), Martínez-Luna et al. (2021) y Botello-Aguillón et al. (2022), que emplean modelos de programación o calibrados para analizar cómo la escasez altera patrones de cultivo, ingresos y el valor marginal del agua. Estas aplicaciones avalan la idoneidad del enfoque para el objetivo de este trabajo y subrayan su utilidad para diseñar estrategias y políticas orientadas a mejorar la productividad del agua y la sostenibilidad agrícola en contextos de restricción hídrica.

En esta investigación, el planteamiento de Norton y Hazell (1986) se adopta como marco conceptual, mientras que su operacionalización se realiza mediante un modelo de programación lineal, que representa explícitamente las decisiones de siembra y uso de agua en los módulos de riego analizados. De esta forma, el modelo permite evaluar cómo variaciones en la disponibilidad hídrica modifican el patrón de cultivos, los ingresos agrícolas y la productividad del agua.

Matemáticamente, el problema se formula como la maximización del beneficio neto agrícola total:

- i. La función objetivo Z maximiza los beneficios netos que resultan del producto de las hectáreas sembradas, por los precios netos de cada cultivo:

$$Z = \sum_{j=1}^n C_j X_{j,k} \quad (1)$$

- ii. Sujeto a restricciones de disponibilidad de tierra, agua superficial y subterránea, incorporadas mediante la matriz de coeficientes técnicos, que representan la cantidad de recursos necesarios para producir una unidad del j -ésimo cultivo, y una cantidad máxima disponible para cada recurso expresados en hectáreas de tierra y dam^3 de agua. Las unidades de C_j se expresan en $\$/\text{ha}$ y de en dam^3/ha .

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \quad (2)$$

- iii. Además, se aplican condiciones de no negatividad para las variables de decisión:

$$X_j \geq 0 \quad (3)$$

Esta formulación permite obtener la asignación óptima de superficies y volúmenes de agua que maximizan el ingreso agrícola bajo distintos escenarios de disponibilidad hídrica, así como los precios sombra (valores duales) asociados al recurso agua.

Diseño del modelo

Se emplea un modelo de programación lineal determinística para maximizar el beneficio neto total (Z), donde las variables de decisión X_j representan las hectáreas sembradas, y C_j es el precio neto por cultivo en \$/ha. El modelo incorpora restricciones de disponibilidad de tierra mensual por módulo, y de agua diferenciada por fuente superficial y subterránea, así como por ciclo OI y PV. Las restricciones hídricas se implementan mediante una matriz de coeficientes técnicos (en dam^3/ha , que se obtienen directamente de la relación entre agua total suministrada y superficie sembrada. Se advierte que el volumen de agua se expresa en dam^3 , pero también en su equivalente en m^3 con fines comparativos con las tarifas públicas ($1 \text{ dam}^3 = 1\,000 \text{ m}^3$). Adicionalmente, debido a condiciones de mercado, se estableció un límite máximo para hortalizas, solo permite un incremento del 30% en la superficie sembrada respecto al ciclo 2021-2022.

El modelo asume tecnologías lineales por hectárea, precios exógenos, competencia perfecta y ausencia de externalidades de mercado. Asimismo, considera disponibilidades específicas de agua superficial y subterránea por módulo y ciclo agrícola, sin permitir intercambios entre módulos, pero sí una redistribución interna entre cultivos y dejar tierra en descanso cuando las restricciones lo requieren.

El modelo se implementó y resolvió utilizando el software LINDO 6.1 (Linear, Interactive, and Discrete Optimizer), una herramienta especializada ampliamente utilizada en investigación de operaciones diseñado para resolver problemas de optimización lineal. Su elección se debió a su eficiencia y precisión en el manejo de modelos con múltiples actividades y múltiples restricciones. Primero se ejecutó el escenario base con las dotaciones de 2021-2022 para determinar la asignación óptima de recursos. Posteriormente, y con base en el historial mostrado en la Tabla 2, se simuló cinco escenarios contrafactuales de sequía progresiva: MS10 (-10%), MS20 (-20%), MS30 (-30%), MS40 (-40%) y MS50 (-50%). Cada ejecución generó vectores de solución de ingresos, así como los valores duales asociados a las restricciones hídricas.

La definición de los escenarios de sequía se apoya en la clasificación empleada por el Banco de México (2022), basada en la clasificación del Monitor de Sequía de América del Norte que establece que una sequía moderada (D1) implica una disminución del 10–20% en la oferta hídrica; una severa (D2), del 20–30%; una extrema (D3), del 30–40%; y una excepcional (D4), del 50% o mayor. La pertinencia de estos escenarios en el DR011 se justifica por su alta variabilidad histórica; por ejemplo, en 2020-2021, la disponibilidad de agua superficial reportada por CONAGUA (2025) fue de 258 157 dam^3 , apenas un 35% del volumen del ciclo siguiente, lo que equivale a una caída del 65% que provocó una reducción de hasta el 24% en la superficie cultivada.

Para evaluar la estabilidad local de las soluciones se utilizaron las salidas de sensibilidad que LINDO 6.1 genera. Específicamente, se revisaron los parámetros *allowable increase* y *allowable decrease* para cada restricción, con el propósito de identificar los intervalos de perturbación de las dotaciones y coeficientes en los que la base óptima permanece sin

cambios y, por tanto, los precios sombra son válidos sin reoptimizar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este apartado presenta un análisis integral de los efectos de la escasez de agua, contextualizado en las condiciones tecnológicas y de mercado del ciclo 2021-2022. Se comparó un escenario base, que representó una asignación eficiente de los recursos, con cinco escenarios de sequía que redujeron gradualmente la disponibilidad de agua y reprodujeron la variabilidad histórica de la zona. Se evaluaron los efectos agregados sobre ingresos, superficie sembrada, cambios en los patrones de cultivo y producción. Además, se analizó la productividad del agua mediante la interpretación de su precio sombra, el cual permitió cuantificar el impacto económico de distintos grados de escasez. El apartado se complementó con un análisis de sensibilidad local para explicar cambios estructurales entre escenarios.

Efectos de la escasez de agua

La comparación entre los escenarios de sequía reveló efectos económicos y productivos importantes. En comparación con el ciclo 2021-2022, la solución del modelo base mostró un incremento promedio potencial del 31% en los ingresos netos agregados de los productores en los módulos analizados, lo que indicó el beneficio de una reasignación eficiente de los recursos. Sin embargo, ante disminuciones **hídricas** progresivas, tanto los ingresos como la superficie sembrada disminuyeron de forma pronunciada (Tabla 3). En el escenario más severo (MS50), la reducción acumulada de ingresos alcanzó los \$951 millones, equivalente a una contracción del 40% respecto al modelo base. Esta disminución en los ingresos fue una consecuencia directa de la reasignación del agua y del incremento de tierra en descanso forzoso. Bajo una sequía del 50%, el 44% de la superficie del escenario base, dejó de cultivarse.

Los impactos fueron heterogéneos por módulo; los escenarios de sequía revelaron reducciones sustanciales tanto en los ingresos como en la superficie sembrada, con implicaciones directas en el bienestar de los productores. En el módulo Salvatierra, el escenario base mostró un incremento de ingresos del 38% respecto al ciclo 2021-2022; en Cortazar, el aumento fue de 25%. En conjunto, ambos módulos presentaron \$547 millones adicionales (Tabla 3).

Al comparar el escenario base con los cinco escenarios de sequía, una disminución del 10% en la disponibilidad de agua condujo a una reducción de ingresos del 7% en Salvatierra y del 6% en Cortazar. En el escenario MS50, los ingresos se contrajeron en 43% en Salvatierra y 38% en Cortazar. De manera análoga, la superficie sembrada disminuyó progresivamente en ambos módulos a medida que se restringió el suministro hídrico, alcanzando una reducción en el escenario MS50 de 47% en Salvatierra y de 41% en Cortazar, respecto al modelo base.

De lo anterior se desprende que, si bien el módulo Salvatierra registró en el modelo base

un incremento notable tanto en ingresos como en superficie cultivada, fue también el módulo que más se afectó en los escenarios de sequía. Como se observa en la Tabla 3 y la Figura 2, ambos módulos experimentaron reducciones significativas; sin embargo, el impacto fue proporcionalmente mayor en Salvatierra, donde las caídas en ingresos y superficie superaron las registradas en Cortazar conforme se agudizó la escasez hídrica. Esto sugiere una mayor sensibilidad del módulo Salvatierra a las restricciones en el recurso agua, asociada a su estructura productiva y a la dependencia relativa del riego.

Estos resultados demostraron el significativo impacto que provoca la sequía en los sistemas de producción agrícola. La disminución en los ingresos en ambos módulos fue relevante y coinciden parcialmente con lo obtenido por Florencio-Cruz et al. (2002), quienes reportaron una reducción máxima del 9% en ingresos netos y del 19% en superficie sembrada, ello como consecuencia de una disminución del 18% al 24% en la disponibilidad de agua.

Los resultados coinciden con estudios previos que destacan cómo la optimización de patrones de cultivo mejora significativamente los ingresos agrícolas. Botello-Aguillón et al. (2022) reportaron un incremento del 10% en módulos del DR011; Martínez-Luna et al. (2021) registraron un incremento del 22% al optimizar cultivos en el DR100; Zetina-Espinosa et al. (2013) identificaron más del 20% en el DR044; Ortega-Gaucin et al. (2008) documentaron un 7% en el DR05; y Godínez-Montoya et al. (2007) reportaron un aumento del 17% en la Comarca Lagunera.

Cambios en los patrones de cultivo

La optimización modificó la distribución de cultivos para maximizar el beneficio neto por unidad de agua. En ambos módulos el ajuste privilegió cultivos con mayor productividad económica hídrica, manteniendo al maíz y al trigo como cultivos dominantes, aunque su participación relativa se ajustó conforme se intensificó la restricción evidenciando la sensibilidad del patrón productivo ante variaciones en la dotación.

En Salvatierra, el maíz y el trigo aumentaron su participación en el escenario base optimizado, pero fueron también los cultivos que perdieron **más superficie absoluta** al intensificarse la escasez, lo que indicó una mayor vulnerabilidad del módulo asociada a su estructura productiva concentrada en cultivos extensivos, mientras que cultivos como tomate y zanahoria mantuvieron áreas relativamente estables, en tanto que, cebada, frijol, avena, sorgo y alfalfa dejaron de sembrarse en escenarios de restricción severa. Este comportamiento coincide con lo señalado por Rodríguez-Flores et al. (2019) y Martínez-Luna et al. (2021), quienes documentan que, ante escasez hídrica, los modelos de optimización reasignan superficie hacia cultivos con mayor rentabilidad por unidad de agua.

En Cortazar, la optimización favoreció un mayor uso relativo de sorgo y mantuvo cierta estabilidad de la superficie sembrada de maíz 2C, sorgo 2C y espárrago ante las reducciones progresivas en la disponibilidad de agua; en cambio, el trigo experimentó

una notable contracción, en tanto que la cebada y alfalfa que demandan más agua o que tienen menor rendimiento económico por unidad de agua desaparecieron de las soluciones óptimas en los escenarios de sequías más severas. Resultados similares han sido reportados por Botello-Aguillón et al. (2022), quienes identifican ajustes en la composición de cultivos asociados al aumento del valor marginal del agua. En conjunto, los resultados muestran que la escasez no solo eleva el precio sombra, sino que induce una reconfiguración estructural del patrón productivo.

Estas modificaciones en superficie se tradujeron en cambios cuantificables en la composición del ingreso agrícola. En Cortazar, cultivos como lechuga y espárrago mantuvieron aportes relevantes del 19% del ingreso del módulo en escenarios menos restrictivos (Tabla 4), lo que evidencia que la estabilidad relativa en superficie también sostuvo su contribución económica. Así, la reasignación óptima no solo respondió a criterios físicos de disponibilidad, sino también a la maximización del ingreso bajo restricciones crecientes.

Productividad del agua

Los precios sombra del agua, extraídos de LINDO 6.1, representan el valor del producto marginal de un recurso (Norton y Hazell, 1986). Asociado a la restricción de agua, expresa el incremento marginal en la función objetivo que obtendría el sistema productivo al disponer de una unidad adicional de agua. Este valor orienta sobre el costo económico de la escasez y el margen máximo eficiente para pagar por mayor disponibilidad de agua. Estos precios se expresan en pesos por decámetro cúbico y se convirtieron a pesos por metro cúbico para compararlos con tarifas **públicas** ($1 \text{ dam}^3 = 1\,000 \text{ m}^3$).

En la Tabla 5, se observa que los precios sombra aumentaron conforme disminuyó la disponibilidad de agua, y que variaron según la fuente hídrica y el ciclo agrícola. En términos de política, la brecha entre los precios sombra estimados y las tarifas agrícolas vigentes fue relevante. Por ejemplo, en Salvatierra el precio sombra del agua superficial en el escenario base para OI se reportó en \$2 200 por dam^3 (equivalente a \$2,20 por m^3) y, en escenarios extremos se aproximó a \$4 200 por dam^3 ; en tanto que, en PV los valores fueron **más altos**, con un rango de \$10 100 a \$17 100 por dam^3 para agua superficial. Estas estimaciones superaron ampliamente la tarifa pagada de \$215 por dam^3 , lo que indicó una subvaloración del recurso en la tarificación actual y sugirió el diseño de instrumentos que internalicen, al menos parcialmente, el costo de oportunidad del agua.

En Cortazar, el precio sombra del agua superficial permaneció estable en los escenarios del ciclo OI, pero aumentaron 50% en el ciclo PV a partir de disminución en la disponibilidad del 20%. Para agua subterránea se observó un incremento pronunciado de más de siete veces en el ciclo OI y del 13% en el ciclo PV, evidenciando la creciente presión sobre los acuíferos en periodos críticos.

El análisis mostró que el precio efectivamente pagado por los agricultores en el DR011 (\$0,22 por m^3) se encuentra significativamente por debajo de los precios sombra

estimados en este estudio, lo que evidencia una subvaloración del recurso y puede perpetuar ineficiencias en la asignación del agua, además de incentivar su sobreuso.

Estudios previos han demostrado que el precio efectivamente pagado por los agricultores es inferior al valor económico marginal del agua. Florencio-Cruz et al. (2002) identificaron precios sombra en el DR011 de \$0,54 a \$2,28 por m³ para agua superficial, y de \$0,66 a \$6,85 por m³ para agua subterránea, con máximos de hasta \$152 por m³ bajo determinadas condiciones de restricción.

Otros estudios realizados en otras regiones y en diferentes distritos confirmaron esta misma tendencia. Godínez-Montoya et al. (2007) estimaron precios sombra de \$0,58 por m³ para agua superficial y \$0,65 por m³ para agua subterránea en la Comarca Lagunera; Rubiños-Panta (2007) reportó rangos de \$0,17 a \$0,28 por m³ en los DR011 y DR017, respectivamente; mientras que Zetina-Espinosa et al. (2013) identificaron un rango más amplio, de \$0,03 a \$5,72 por m³ en el DR044.

Más recientemente, Rodríguez-Flores et al. (2019) reportaron valores de \$0,27 a \$0,70 por m³, mientras que Ramírez-Barraza et al. (2019) calcularon precios sombra de \$0,91 por m³ para agua superficial y \$1,56 por m³ para subterránea en la Comarca Lagunera. Asimismo, Martínez-Luna et al. (2021) estimaron un precio sombra de \$1,44 por m³ en el DR100, y Botello-Aguillón et al. (2022) registraron valores de \$3,90 por m³ en dos módulos del DR011. En conjunto, estos resultados refuerzan la necesidad de revisar las estructuras tarifarias, a fin de que el precio del agua refleje de manera más precisa su valor económico y promueva un uso más eficiente y sostenible del recurso.

Análisis de sensibilidad

Para evaluar la robustez puntual de las soluciones y de los precios sombra se realizó un análisis de sensibilidad local sobre las restricciones de disponibilidad hídrica. En cada escenario se extrajeron los valores duales asociados a las restricciones de agua y los rangos de estabilidad del lado derecho (RHS ranges: *allowable increase* y *allowable decrease*) generados por LINDO. Estos rangos indican el intervalo de variación de la dotación hídrica dentro del cual la base óptima permanece inalterada y, por tanto, el precio sombra conserva su validez local.

En la Tabla 6 se muestran la dotación actual, los intervalos de estabilidad (RHS ranges) y los límites inferior y superior de cada restricción, todos extraídos de las salidas de LINDO. Todas las restricciones registraron slack igual a cero y, por tanto, se consideraron activas. La Figura 3 sintetiza los valores de la Tabla 5 y facilita la comparación gráfica de la evolución de los precios sombra por escenario y módulo.

En las ejecuciones comparadas se observaron discontinuidades en los valores duales entre escenarios; estas discontinuidades se explican por cambios en la base óptima (por la sustitución de restricciones activas al cruzar los *RH ranges*), un comportamiento esperado en problemas de programación lineal. La lectura de dichos rangos permitió

identificar los niveles de dotación en los que ocurren puntos de quiebre en los precios sombra y en la estructura de asignación óptima del agua.

Estos umbrales son clave para valorar la robustez puntual de cada precio sombra y para diseñar recomendaciones operativas: intervenciones tarifarias o de asignación que actúen cerca de esos límites podrían producir cambios estructurales en la asignación de cultivos y en el valor económico marginal del agua. Los resultados muestran, además que los módulos difieren en su sensibilidad ante reducciones equivalentes de dotación, lo que apoya la necesidad de estrategias de manejo hídrico diferenciadas.

Por ejemplo, para la restricción Salvatierra-Superficial OI en el escenario Base, LINDO reporta RHS de 13 437 dam³. Es decir, la restricción tolera una reducción de hasta menos 1 755 dam³ antes de cambiar la base óptima, pero solo admite un pequeño aumento de 3,8 dam³ sin alterar la base. Esta asimetría explica por qué recortes pequeños en una dirección pueden provocar saltos en los precios sombra.

El modelo de programación lineal asignó el agua entre cultivos de forma consistente con el objetivo de maximizar el beneficio neto; las soluciones obtenidas y la lectura de los rangos de sensibilidad respaldaron la hipótesis planteada: los precios sombra aumentaron con la restricción hídrica y las asignaciones óptimas de superficie e ingresos se modificaron de manera cuantificable. Los patrones y magnitudes del cambio variaron por módulo, lo que justifica políticas diferenciadas y medidas de manejo adaptadas a las condiciones productivas locales.

Resultados similares en términos de precios sombra y cambios en patrones de cultivo han sido reportados en investigaciones que aplican modelos de optimización para evaluar la asignación de agua bajo escasez (Rodríguez-Flores et al., 2019; Martínez-Luna et al., 2021). Aunque dichos trabajos coinciden en la dirección de los efectos (reasignación de cultivos y aumento del valor marginal del agua), no documentan formalmente el análisis de *RHS ranges* para los duales como el presente; por ello, el análisis de sensibilidad local aquí implementado amplía la evidencia disponible al identificar intervalos de estabilidad y puntos de quiebre útiles para la formulación de políticas tarifarias y de gestión operativa del recurso.

CONCLUSIONES

La sequía afecta significativamente la agricultura en los módulos Salvatierra y Cortazar del DR011 reduciendo los ingresos agrícolas y, en consecuencia, la superficie sembrada, además de modificar la composición del patrón de cultivos. La escasez progresiva de agua limita la capacidad de los agricultores para mantener sus áreas de cultivo, lo que los lleva a reducir la superficie sembrada como medida de adaptación, mitigando pérdidas económicas mayores, pero implicando una disminución de la producción agregada. La aplicación de modelos de asignación eficiente revela el potencial de incrementar, tanto la superficie cultivada, como los ingresos totales mediante una reasignación que prioriza cultivos de mayor rentabilidad por unidad de agua, sin embargo, esos beneficios se

erosionan conforme se intensifica la escasez.

Una contribución central del trabajo es la estimación de precios sombra que superan ampliamente las tarifas agrícolas, evidenciando que existe una subvaloración sistemática del costo del agua en la tarificación vigente, que no refleja la presión real sobre el recurso, y sugiere la necesidad de incorporar instrumentos que internalicen, al menos parcialmente, el costo de oportunidad del recurso. La incorporación de referencias basadas en los precios sombra en el diseño de políticas tarifarias y de asignación podría incentivar usos más eficientes, reducir presiones sobre acuíferos y orientar programas de reconversión hacia cultivos con mayor productividad económica del agua.

Los resultados responden a la pregunta de investigación y cumplen el objetivo propuesto al ofrecer estimaciones comparadas entre el escenario base y los escenarios de escasez, proporcionando la evidencia empírica necesaria para evaluar impactos en asignaciones, ingreso y productividad del agua. Asimismo, la hipótesis queda corroborada: los precios sombra aumentan conforme disminuye la disponibilidad hídrica y las asignaciones óptimas de superficie e ingresos se modifican de manera cuantificable. Los rangos de sensibilidad permitieron además identificar puntos de quiebre en la estructura de soluciones, información relevante que puede orientar la revisión de tarifas, priorizar inversiones en eficiencia y definir incentivos para una reasignación de cultivos que fortalezca la resiliencia y sostenibilidad de la agricultura regional en contextos de escasez

Entre las limitaciones, se reconoce que el análisis se apoya en datos agregados del ciclo 2021–2022 y no captura variabilidad parcelaria, dinámicas interanuales de precios ni efectos distributivos entre usuarios o repercusiones sobre empleo agrícola. Para fortalecer las implicaciones de política se sugiere que estudios futuros integren datos a nivel parcela y análisis intertemporales que consideren la volatilidad de precios y respuestas de mercado, con el fin de evaluar la sostenibilidad y resiliencia de las estrategias de asignación bajo condiciones más realistas.

APÉNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1.

Patrón de cultivos, disponibilidad de agua, rendimiento, costos de producción y precios netos del ciclo 2021-2022

Cultivos Salvatierra	Superficie sembrada (ha)	Agua superficial (dam ³)	Agua subterránea (dam ³)	Rend. (ton ha ⁻¹)	Prod. (ton)	Precio medio rural (\$ton ⁻¹)	Precio Neto (\$ha ⁻¹)	Costos de prod. (\$ha ⁻¹)
Cebada OI	228	1 425	443	7	1 599	7 800	21 762	32 942
Trigo OI	2 289	8 214	7 906	7	16 427	9 000	29 371	35 219
Brócoli OI	51	0	248	19	966	5 000	35 000	60 000
Frijol OI	548	3 407	1 838	2	1 095	17 185	953	33 417
Avena OI	71	259	99	13	953	2 100	6 567	21 778
Tomate OI	331	1 723	1 225	26	8 688	7 755	166 478	37 256

Zanahoria OI	613	843	3 362	46	28 284	1 327	28 589	32 588
Maíz PV	5 839	22 590	8 128	13	78 243	7 500	55 733	44 768
Sorgo PV	73	361	0	8	586	7 300	29 300	29 100
Frijol PV	263	974	759	2	494	17 332	3 583	29 001
Avena PV	4	0	9	14	52	2 100	8 391	21 009
Tomate PV	201	635	403	28	5 633	7 227	173 319	29 038
Zanahoria PV	83	74	221	46	3 819	1 600	40 802	32 692
Alfalfa PRN	1 094	3 733	2 880	15	16 265	3 549	24 674	28 088
Maíz 2C	2 444	5 912	2 664	13	31 041	7 500	51 750	43 500
Sorgo 2C	25	69	0	8	201	7 300	29 300	29 100
Frijol 2C	25	40	23	2	49	17 500	3 000	32 000
Subtotal	14 181	50 258	30 209					
Cultivos Cortazar								
Cebada OI	562	2 221	3 299	7	3 940	7 800	21 762	32 942
Trigo OI	6 779	43 290	15 594	7	48 651	9 000	29 371	35 219
Brócoli OI	269	0	2 028	19	5 112	5 000	35 000	60 000
Lechuga OI	658	5	4 573	28	18 107	6 632	143 170	39 196
Maíz PV	4 700	9 411	9 111	13	62 976	7 500	55 733	44 768
Sorgo PV	152	448	36	9	1 368	7 300	36 600	29 100
Cebada PV	44	0	421	7	310	7 800	21 762	32 942
Trigo PV	446	0	2 692	7	3,204	9 000	29 371	35 219
Lechuga PV	92	0	327	30	2 712	4 208	84 940	39 196
Alfalfa PRN	545	888	1 653	25	13 366	3 549	58 934	28 088
Espárrago PRN	954	29	1 836	5	4 769	43 058	130 473	84 815
Maíz 2C	5 669	8 897	8 145	13	70 863	7 500	50 250	43 500
Sorgo 2C	3 105	5 009	2 230	10	30 089	7 300	41 637	29 100
Lechuga 2C	19	0	55	26	498	6 134	122 742	39 196
Subtotal	23 995	70 197	52 000					

Fuente: Elaboración propia con información del DR011.

Tabla 2.*Disponibilidad de agua en dam³ por tipo de fuente respecto a 2021-2022*

Año agrícola	Superficial	%	Subterránea	%	Total	%
2000-2001	298 584	41	383 158	103	681 742	62
2009-2010	351 603	48	379 818	102	731 421	66
2012-2013	345 880	47	370 905	100	716 785	65
2020- 2021	258 157	35	388 190	104	646 347	59
2021-2022	729 745	100	372 564	100	1102 309	100
Promedio 2000-2022	634 678		349 893		1001 702	

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA (2025).

Tabla 3.*Ingresos y superficie en escenarios de sequía*

Modelo	Salvatierra				Cortazar			
	Ingresos (MDP)†	% ‡	Superficie (ha)	% ‡	Ingresos (MDP)†	% ‡	Superficie (ha)	% ‡
2021-2022	669		14 181		1,177		23 995	
Base	921	37,80	17 401	22,70	1,472	25,00	27 016	12,60
MS10	858	-6,90	16 063	-7,70	1,387	-5,80	25 453	-5,80
MS20	790	-14,30	14 720	-15,40	1,275	-13,30	23 235	-14,00
MS30	705	-23,50	12 926	-25,70	1,155	-21,50	20 774	-23,10
MS40	616	-33,20	11 035	-36,60	1,035	-29,70	18 341	-32,10
MS50	527	-42,80	9 145	-47,40	915	-37,80	15 893	-41,20

† MDP millones de pesos,

‡ Porcentaje de variación

Fuente. Elaboración propia con información del DR011

Tabla 4.*Cambios en la participación de los cultivos en la superficie sembrada considerando distintos escenarios de sequía*

Salvatierra (ha sembrada)	21-22	Base	MS10	MS20	MS30	MS40	MS50
Trigo OI	2 289	2 939	2 569	2 516	2 177	1 784	1392
Tomate OI	331	450	450	450	450	450	450
Zanahoria OI	613	395	385	149	108	100	93
Maíz PV	5 839	2 730	1 585	238	0	0	0
Tomate PV	201	290	290	290	290	290	290
Maíz 2C	2 444	10 397	10 778	11 066	9 899	8 409	6 919
Cortazar (ha sembrada)							
Trigo OI	6 779	2 149	538	0	0	0	0
Lechuga OC	658	856	856	856	856	856	856
Maíz PV	4 700	13 365	10 748	9 078	8 150	7 220	6 291
Sorgo PV	152	2 758	3 149	3 409	4 410	5 428	6 438

Espárrago PR	954	1 240	1 240	1 240	1 240	1 240	1 240
Sorgo 2C	3 105	6 607	8 833	8 652	6 116	3 597	1 068

Fuente. Elaboración propia con información del DR011 y resultados de los modelos

Tabla 5.

Precio sombra del agua en escenarios de sequía en \$m³

Módulo y Ciclo	Base	MS10	MS20	MS30	MS40	MS50
Salvatierra Superficial OI	2,20	2,20	2,20	4,20	4,20	4,20
Salvatierra Subterránea OI	2,10	2,10	2,10	4,20	4,20	4,20
Salvatierra Superficial PV	10,10	10,10	10,10	17,10	17,10	17,10
Salvatierra Subterránea PV	12,00	11,90	11,90	9,60	9,60	9,6
Cortazar Superficial OI	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Cortazar Subterránea OI	0,80	0,80	6,30	6,30	6,30	6,30
Cortazar Superficial PV	7,30	7,40	11,00	11,00	11,00	11,00
Cortazar Subterránea PV	15,40	15,40	17,40	17,40	17,40	17,40

Fuente. Elaboración propia con información del DR011 y resultados de los modelos.

Tabla 6.

Análisis de sensibilidad y clasificación de estabilidad por módulo y escenario.

Esce- nario	Módulo y Ciclo	RHS actual (dam ³)	Incremento permisible (dam ³)	Decremento permisible (dam ³)	Límite inferior (RHS - decre- mento)	Límite superior (RHS + incre- mento)	Clasifi- cación de Estabili- dad	Activa
Base	M02 Sup OI	13 438	4	1 755	11 682	13 441	Moderada	Si
Base	M02 Sub OI	13 969	3	1 644	12 325	13 973	Moderada	Si
Base	M02 Sup PV	36 821	1 303	0	36 821	38 124	Sensible	Si
Base	M02 Sub PV	16 240	0	468	15 772	16 240	Sensible	Si
MS10	M02 Sup OI	12 094	1 666	514	11 580	13 760	Moderada	Si
MS10	M02 Sub OI	12 640	1 730	470	12 170	14 369	Moderada	Si
MS10	M02 Sup PV	33 139	43	1 266	31 873	33 182	Sensible	Si
MS10	M02 Sub PV	14 549	455	15	14 533	15 003	Sensible	Si
MS20	M02 Sup OI	11 581	646	830	10 751	12 227	Moderada	Si
MS20	M02 Sub OI	11 166	2 710	620	10 546	13 876	Estable	Si
MS20	M02 Sup PV	28 626	69	810	27 816	28 696	Sensible	Si
MS20	M02 Sub PV	13 001	445	25	12 976	13 446	Sensible	Si
MS30	M02 Sup OI	10 306	468	2 998	7 308	10 774	Estable	Si
MS30	M02 Sub OI	9 770	2 881	450	9 321	12 652	Estable	Si
MS30	M02 Sup PV	24 874	11	997	23 878	24 885	Sensible	Si
MS30	M02 Sub PV	11 376	449	5	11 371	11 825	Sensible	Si
MS40	M02 Sup OI	8 887	434	3 032	5 856	9 322	Estable	Si
MS40	M02 Sub OI	8 375	2 913	417	7 957	11 288	Estable	Si
MS40	M02 Sup PV	21 268	10	998	20 270	21 277	Sensible	Si

MS40	M02 Sub PV	9 751	450	4	9 746	10 200	Sensible	Si
MS50	M02 Sup OI	7 468	401	3 065	4 403	7 869	Estable	Si
MS50	M02 Sub OI	6 979	2 945	385	6 594	9 924	Estable	Si
MS50	M02 Sup PV	17 661	8	999	16 662	17 669	Moderada	Si
MS50	M02 Sub PV	8 126	450	4	8 122	8 576	Moderada	Si
Base	M05 Sup OI	24 569	204	10 407	14 162	24 773	Estable	Si
Base	M05 Sub OI	18 200	15 466	73	18 127	33 666	Estable	Si
Base	M05 Sup PV	45 628	7 081	560	45 068	52 709	Moderada	Si
Base	M05 Sub PV	33 800	12 671	1 003	32 797	46 471	Estable	Si
MS10	M05 Sup OI	18 046	801	2 604	15 443	18 847	Moderada	Si
MS10	M05 Sub OI	16 380	3 869	288	16 092	20 249	Estable	Si
MS10	M05 Sup PV	45 131	9 467	2 199	42 931	54 598	Estable	Si
MS10	M05 Sub PV	30 420	14 710	3 936	26 484	45 130	Estable	Si
MS20	M05 Sup OI	13 976	1	75	13 901	13 977	Muy sensible	Si
MS20	M05 Sub OI	14 560	34	0	14 560	14 594	Muy sensible	Si
MS20	M05 Sup PV	42 181	4 982	9 214	32 967	47 163	Estable	Si
MS20	M05 Sub PV	27 040	8 915	16 134	10 906	35 955	Estable	Si
MS30	M05 Sup OI	9 900	7	69	9 831	9 907	Muy sensible	Si
MS30	M05 Sub OI	12 740	31	3	12 737	12 771	Muy sensible	Si
MS30	M05 Sup PV	39 200	12 574	11 917	27 282	51 774	Estable	Si
MS30	M05 Sub PV	23 660	11 560	14 485	9 175	35 220	Estable	Si
MS40	M05 Sup OI	5 837	0	76	5 761	5 837	Sensible	Si
MS40	M05 Sub OI	10 920	34	0	10 920	10 954	Muy sensible	Si
MS40	M05 Sup PV	36 281	20 076	14 670	21 611	56 357	Estable	Si
MS40	M05 Sub PV	20 280	14 230	12 832	7 448	34 510	Estable	Si
MS50	M05 Sup OI	1 766	1	74	1 692	1 768	Sensible	Si
MS50	M05 Sub OI	9 100	33	1	9 099	9 133	Muy sensible	Si
MS50	M05 Sup PV	33 332	27 626	17 400	15 932	60 958	Estable	Si
MS50	M05 Sub PV	16 900	16 878	11 180	5 720	33 778	Estable	Si

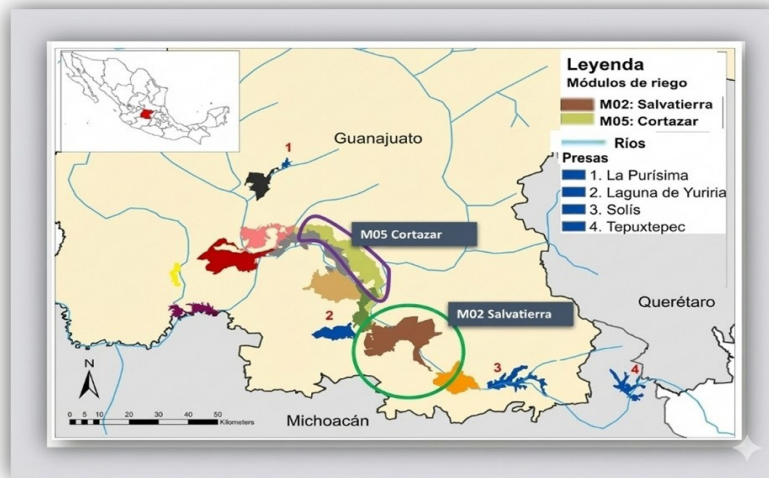
Notas:

1. Los valores iguales a cero en Incremento/decremento permisible, significa sin margen en esa dirección.
2. La clasificación de estabilidad se definió con base en el ancho relativo del intervalo de estabilidad respecto al RHS actual de cada restricción. Se consideró "Muy sensible" cuando el intervalo total fue <1% del RHS, "Sensible" entre 1–5%, "Moderada" entre 5–20% y "Estable" cuando fue >20%.

- Activa: restricción con *slack* = 0; su dual (precio sombra) es relevante y su validez es local, definida dentro del intervalo.

Figura 1.

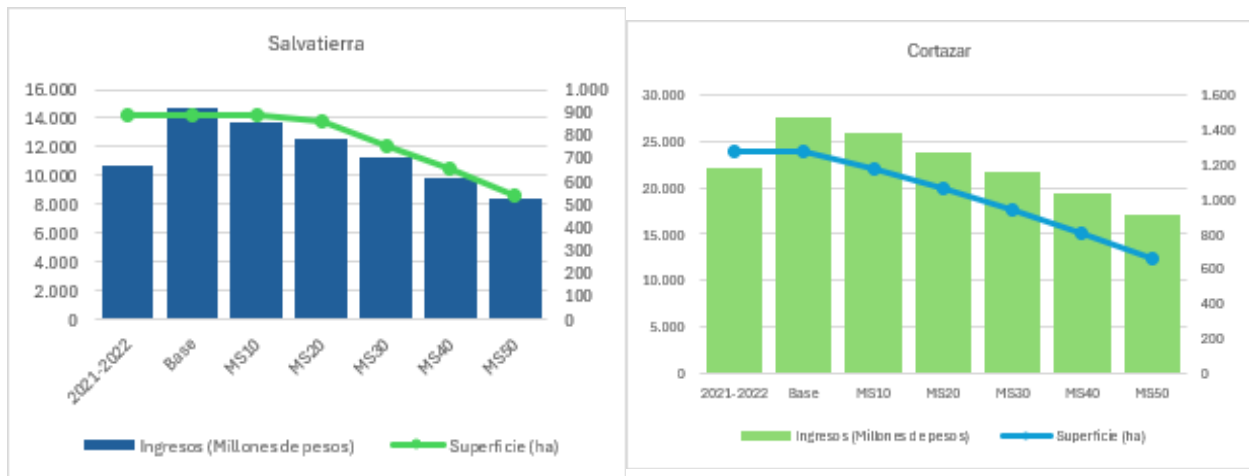
Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Guanajuato, México.



Fuente: Adaptado de Rodríguez-Flores, et al. (2019)

Figura 2.

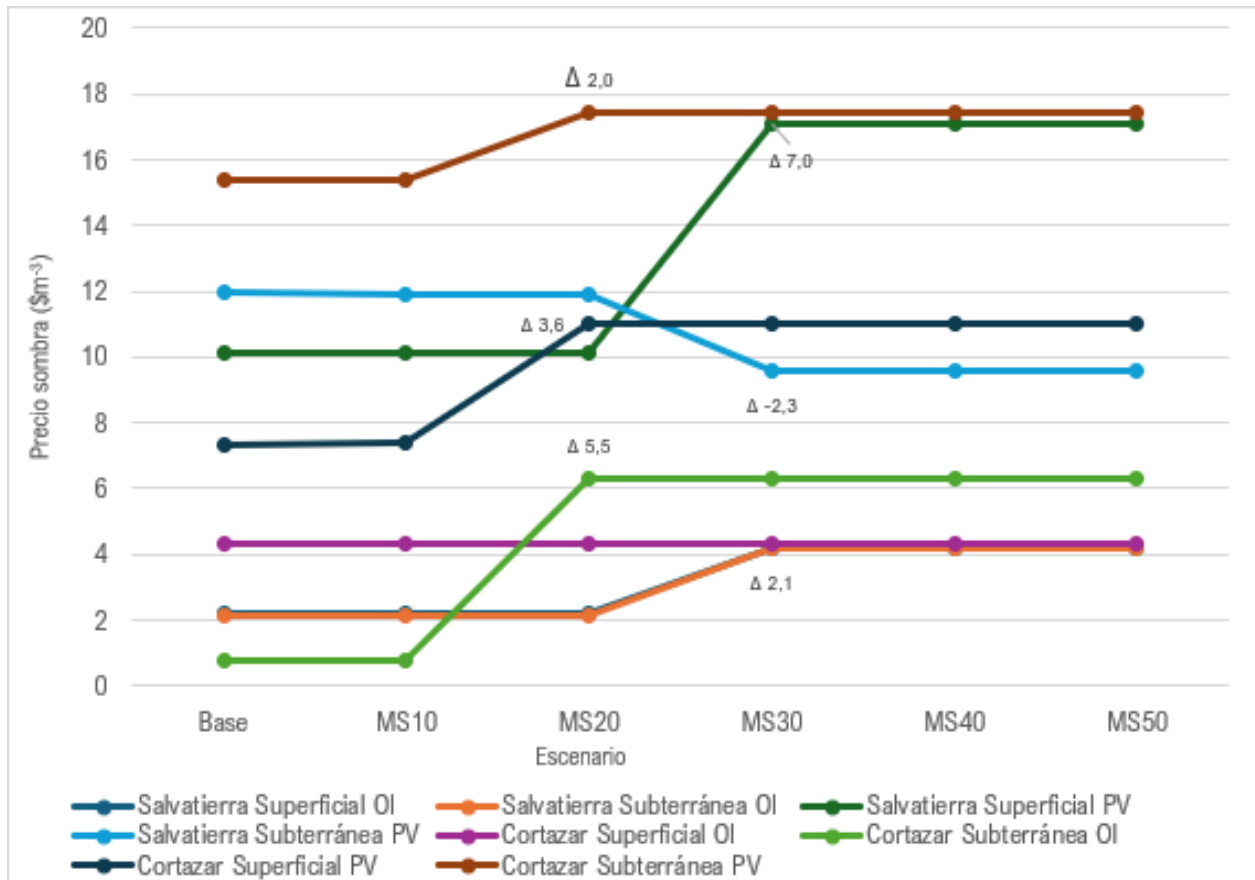
Variación del ingreso agrícola de los módulos considerando distintos escenarios de sequía



Fuente. Elaboración propia con información del DR011 y resultados de los modelos.

Figura 3.

Evolución de los precios sombra del agua ($\$/m^3$) por escenario y combinación módulo ciclo



Fuente. Elaboración propia con resultados de las salidas de LINDO

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

La presente investigación se realizó dentro del programa de estudios de postgrado con beca del CONAHCYT y apoyo para la recopilación de información de campo de la DICEA de la UACH.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

La contribución que los autores hicieron a la investigación consistió en la conceptualización en la región de estudio, la selección, de la metodología y el software a utilizar, así como la validación: FDFL, RVA; el análisis formal, FDFL, RVA y JHO; el trabajo de campo de la investigación FDFL y RVA; la curación de datos, FDFL, RVA y JJVC; escritura: preparación del borrador original, FDFL, RVA y JHO; escritura: revisión y edición, FDFL, RVA y JJVC; visualización, RVA y JHO; supervisión RVA y JHO; administración del proyecto FDFL y RVA.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la atención y el otorgamiento de la información al jefe del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato, así como al personal técnico para obtener la información para realizar la investigación.

LITERATURA CITADA

- Ángeles, J. M. (2015). *Análisis de las eficiencias de riego en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato, México* [Informe técnico]. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1876/OT_103.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Banco de México. (2022). *Sequía en México y su potencial impacto en la actividad económica* (Recuadro 2, Informe trimestral abril-junio 2022, pp. 30-35). <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/recuadros/%7B3A0127A1-D0C9-7D61-C9AE-E57E127FB39B%7D.pdf>
- Banco Mundial. (2024). *Agua: Panorama general*. Consultado el 18 de marzo de 2024 <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>;
- Botello-Aguillón, C., Valdivia-Alcalá, R., Hernández-Ortiz, J., Sangermán-Jarquín, D. M., & Gutiérrez-García, F. G. (2022). Reallocation of water in agriculture under drought conditions as economic efficiency maximizer. *Agro productividad*, 15(8), 187-194. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i8.2191>
- CEDRSSA. (2016). *Las unidades de riego para el desarrollo rural*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. <https://portales.diputados.gob.mx/CEDRSSA/publicaciones/detalles/c729c3ba-feb7-4051-b27f-bba5141b8d6e>
- CEDRSSA. (2021). *Los Distritos de riego y las concesiones de agua*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. <https://portales.diputados.gob.mx/CEDRSSA/publicaciones/detalles/59c08978-631a-4859-bc8d-356998026c38>

- CONAGUA. (2020). Comisión Nacional del Agua. *Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Programa Especial derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499>
- CONAGUA. (2021). *Programa Hídrico Regional 2021-2024. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma Santiago Pacífico*. https://files.conagua.gob.mx/conagua/generico/PNH/PHR_2021-2024_RHA_VIII_LSP.pdf
- CONAGUA (2022). *Numeragua*, edición 2022. Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT. México. 2022. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/Numeragua%202022.pdf>
- CONAGUA. (2023). *Estadísticas del agua en México. México*, Edición 2023. SEMARNAT. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Descargas/pdf/EAM2023_f.pdf
- CONAGUA. (2024). *Actualización de la disponibilidad media anual de Agua en el acuífero Salvatierra-Acámbaro (1118, estado de Guanajuato*. Ciudad de México. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/guanajuato/DR_1118.pdf
- CONAGUA. (2025). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Superficies regadas y volúmenes distribuidos por distrito de riego 1998 – 2023*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/936320/SUPERFICIES_REGADAS_Y_VOLUMENES_1998-2023.xlsx
- DOF. (2023a). *Acuerdo por el que se dan a conocer las zonas de disponibilidad que corresponden a las cuencas y acuíferos del país para el ejercicio fiscal 2023*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5684460&fecha=31/03/2023#gsc.tab=0
- DOF. (2023b). *Ley de Aguas Nacionales. (Última Reforma)*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/976265/162-_LEY_de_Aguas_Nacionales.pdf.
- FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Informe sobre temas hídricos No. 38. <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>
- FAO. (2020). *Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1441es>
- FAO. (2021). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- Florencio-Cruz, V., Valdivia-Alcalá, R., & Scott, C. A. (2002). Productividad del agua en el

- distrito de riego 011, Alto Río Lerma. *Agrociencia*, 36(4), 483-493. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/201/201>
- Flores-Casamayor, H., Delgado-Galván, X. y Mora Rodríguez J. 2020. Aspectos prioritarios en la gestión de los acuíferos en el Bajío de Guanajuato. Universidad de Guanajuato. En A. R. Caldera Ortega & D. Tagle Zamora (Coords.), *Agua en el bajío guanajuatense* (pp. 85–106). Universidad de Guanajuato. <https://www.ugto.mx/ugentucasa/images/pdf/libro/agua-en-el-bajio-guanajuatense.pdf>
- Godínez-Montoya, L., García-Salazar, J. A., Fortis-Hernández, M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. Á., Valdivia-Alcalá, R., & Hernández-Martínez, J. (2007). Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 51-59. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311513007.pdf>
- HernándezPérez, J., AranaCoronado, O. A., HernándezOrtiz, J., & ValdiviaAlcalá, R. (2025). Valor económico del agua en el Distrito de Riego 003 Tula, Hidalgo, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 16(1), 138–172. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2025-01-04>
- IMCO. (2023). *Situación del agua en México: Escasez o mala gestión*. <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Situacion-del-agua-en-Mexico-1.pdf>
- IMTA. (2022). *Introducción seguridad hídrica*. Rojas Rueda, A. & G. Tzatchkov V. (Coords.). https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/introduccion_seguridad_hidrica.pdf
- IPLANEG. (2019). *Programa Estatal de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Guanajuato* (PEDUOET 2040). Gobierno del Estado de Guanajuato. <https://iplaneg.guanajuato.gob.mx/peduoet/>
- Levine, G. (2007). La cuenca del río Lerma-Chapala: Un estudio de caso de transferencia de agua en una cuenca cerrada. *Paddy and Water Environment*, 5, 247-251. <https://doi.org/10.1007/s10333-007-0088-4>
- Martínez-Luna, D., Mora-Flores, J. S., Exebio-García, A. A., Arana-Coronado, O. A., & Arjona-Suárez, E. (2021). Valor económico del agua en el Distrito de Riego 100, Alfajayucan, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*, 39. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100110&script=sci_arttext
- Norton, R. D., & Hazell, P. B. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Macmillan. https://www.researchgate.net/publication/256475967_Mathematical_Programming_for_Economic_Analysis_in_Agriculture
- OCDE. (2012), *Gobernabilidad del Agua en América Latina y el Caribe: Un Enfoque Multinivel*. Éditions OCDE. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264079779-es>

- OCDE. (2013), Hacer realidad la reforma del sector del agua en México, Estudios de la OCDE sobre el agua. <https://doi.org/10.1787/9789264187894-en>.
- OCDE/FAO. (2023). *Perspectivas Agrícolas 2023-2032*. <https://doi.org/10.1787/2ad6c3ab-es>
- ONU. (1992). Dublin Principles. *The Dublin statement on water and sustainable development*. In International Conference on Water and the Environment, Dublin, Ireland. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892900030733>
- ONU. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua*. UNESCO. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es>
- ONU. (2022a). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022: Aguas subterráneas, Hacer visible el recurso invisible*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382894>
- ONU. (2022b). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022_Spanish.pdf
- ONU. (2023). *The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water*. UNESCO. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023/en>
- Ortega-Gaucin, D., Vélez, E. P., Sáenz, E. M., & Pimentel, L. R. (2008). Una alternativa metodológica para la estimación del impacto socio-económico de la sequía en los distritos de riego. En *La Ingeniería Agrícola: Motor del Desarrollo de la Agricultura Mexicana* (pp. 134–146). Universidad Autónoma Chapingo. <https://acortar.link/9oUj80>
- Peniche-Camps, S. (2020). Castillos en la arena. Política de aguas en la cuenca de Río Lerma y los niveles del lago de Chapala. En A. R. Caldera Ortega & D. Tagle Zamora (Coords.), *Agua en el bajío guanajuatense* (pp. 107–126). Universidad de Guanajuato. <https://www.ugto.mx/ugentucasa/images/pdf/libro/agua-en-el-bajio-guanajuatense.pdf>
- Ramírez-Barraza, B. A., González Estrada, A., Valdivia Alcalá, R., Salas González, J. M., & García Salazar, J. A. (2019). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(3), 539-550. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1295>
- Rodríguez-Flores, J. M., Medellín-Azuara, J., Valdivia-Alcalá, R., Arana-Coronado, O. A., & García-Sánchez, R. C. (2019). Insights from a calibrated optimization model for irrigated agriculture under drought in an irrigation district on the central Mexican high plains. *Water*, 11(4), 858 <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/858>

- Rubiños-Panta, J. E. (2007). Valor económico del agua y análisis de las transmisiones de derechos de agua en distritos de riego de México. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 043-049. <http://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1437>
- SEMARNAT. (2018). *Informe del Medio Ambiente*. Gobierno de México. Consultado el 14 de junio de 2024 en <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
- UNESCO. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/wwap/wwdr/2020>
- Ward, F. A., & Pulido-Velazquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(47), 18215-18220. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805554105>
- WEF. (2023). *The Global Risks Report 2023* 18th Edition. <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/>
- WRI. (2023a). *UN Water Conference 2023: Not Enough Game-changing Commitments*. Consultado el 20 de septiembre de 2024 en https://www.wri.org/insights/un-water-conference-2023-needed-outcomes?_gl=1*6or0jg*_qnLZXSLhCBN_2Pq4CUPjYSwNiqoy14XDKaCOyWmxRoX2XvoN9GKxBoC7rYQAvD_BwE
- WRI. (2023b). Mexico, Aqueduct beta. Baseline water stress. Consultado el 18 de agosto de 2024 en https://www.wri.org/applications/aqueduct/country-rankings/?_gl=1%2A1a73sei%2A_qnLZXSLhCBN_2Pq4CUPjYSwNiqoy14XDKaCOyWmxRoX2XvoN9GKxBoC7rYQAvD_BwE
- Young, R. A. (2005). *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods. Resources for the Future*.
- Young, R. A., & Loomis, J. B. (2014). *Determining the economic value of water: concepts and methods*. (2nd ed.). Routledge.
- Zetina-Espinosa, A. M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. Á., Cruz-Jiménez, J., & Téllez-Delgado, R. (2013). Valor económico del agua en el distrito de riego 044, Jilotepec, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(2), 139-156. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722013000200001&script=sci_arttext



RESPUESTA DE 20 GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* Grupo Tuberosum) FRENTE AL COMPLEJO PUNTA MORADA

Response Of 20 Potato Genotypes (*Solanum Tuberosum*, Tuberosum Group) To The Punta Morada Complex

Carolina Martínez Moncayo¹

 <https://orcid.org/0000-0001-5336-1510>

 caromar88@gmail.com

Josue Esleyder Cuaran Rodríguez²

 <https://orcid.org/0009-0007-0345-0604>

 jecuaran97@udenar.edu.co

¹Ing. Agr., IM.Sc., Ph.D. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Ciencias Aplicadas – CIDTCA, Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Ciencias Aplicadas – GIDTCA, Calle 11 No. 37-05, 520002, Pasto, Nariño, Colombia

²Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño (UDENAR), Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, Colombia

David Esteban Duarte Alvarado³

 <https://orcid.org/0000-0002-8896-3594>

 deduarte@unal.edu.co

Tulio Cesar Lagos Burbano⁴

 <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

 tlagos3@gmail.com

³Ing. Agr., IM.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño (UDENAR), Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, Colombia

⁴Ing. Agr., IM.Sc., Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño (UDENAR), Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, Colombia

RESUMEN

La Punta Morada de la Papa (PMP), asociada a Candidatus Phytoplasma spp. y Candidatus Liberibacter solanacearum, representa una limitante para la productividad del cultivo en regiones altoandinas. El presente estudio evaluó la respuesta agronómica de un conjunto de genotipos de papa tipo guata bajo condiciones de presión natural de la enfermedad, con el objetivo de identificar materiales con menor progresión de síntomas y desempeño productivo favorable. Se empleó un diseño de bloques aumentado, incluyendo testigos comerciales, y se analizaron variables productivas por categorías comerciales, vigor vegetativo y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos únicamente para AUDPC, mientras que los componentes de rendimiento y vigor no presentaron diferencias estadísticas. Sin embargo, los genotipos Guata 07, Guata 15, Guata 23, Guata 55 y Guata 77 se destacaron, combinando valores relativamente bajos de AUDPC con altos rendimientos de tubérculos de primera categoría, d. Los resultados evidencian una amplia variabilidad en la respuesta de los materiales evaluados frente al complejo PMP, que permite identificar materiales promisorios para evaluaciones posteriores en múltiples ambientes, orientadas a confirmar la estabilidad de su comportamiento productivo y sanitario.

PALABRAS CLAVES:

Fitoplasmas,
Liberibacter,
Rendimiento, Variabilidad
Genética. Tesauro:
Agrovoc (Fao)

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 13 de Febrero de 2026 / Fecha Aprobación: 20 de Marzo 2026 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Martínez Moncayo, C., Cuaran Rodríguez, J. E., Duarte Alvarado, D. E. & Lagos Burbano, T. C. (2026). *Respuesta De 20 Genotipos De Papa (Solanum Tuberosum Grupo Tuberosum) Frente Al Complejo Punta Morada*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 99-117. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a6>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

ABSTRACT

Potato Purple Top (PPT), associated with *Candidatus Phytoplasma* spp. and *Candidatus Liberibacter solanacearum*, represents a major constraint on potato productivity in high-Andean regions. The present study evaluated the agronomic response of a set of tetraploid potato genotypes under natural disease pressure conditions, with the objective of identifying materials with reduced symptom progression and favorable yield performance. An augmented block design was used, including commercial checks, and productive traits were analyzed by commercial grade categories, vegetative vigor, and the area under the disease progress curve (AUDPC). Analysis of variance revealed significant differences among treatments only for AUDPC, whereas yield components and vegetative vigor did not show statistically significant differences. However, several genotypes combined relatively low AUDPC values with high yields of first-grade tubers, particularly Guata 07, Guata 15, Guata 23, Guata 55, and Guata 77. The results demonstrate substantial variability in genotype responses to the PPT complex and allowed the identification of promising materials for further multi-environment evaluations aimed at confirming the stability of their agronomic performance and disease response.

KEYWORDS

Phytoplasmas,
Liberibacter, Yield,
Genetic Variability.
Thesaurus: Agrovoc
(Fao).

INTRODUCCIÓN

La papa cultivada (*Solanum tuberosum* L.) es actualmente el tercer cultivo alimentario básico más importante del mundo y, junto con el trigo, el arroz y el maíz, es responsable del 80% del consumo calórico de la humanidad (Zhang et al., 2025). En relación con otros cultivos agrícolas, la papa presenta menores requerimientos para su producción, puede cultivarse en zonas de mayor altitud y demanda menos insumos que otras hortalizas, registrando para 2019, cosechas provenientes de más de 17 millones de hectáreas dedicadas a su cultivo a nivel mundial (Křížková et al., 2022).

En Colombia, la papa es un cultivo de gran importancia y se cosechan cerca de 2.625.000 toneladas en 125.000 ha, generando cerca de 264.000 empleos directos e indirectos, proporcionando ingresos a alrededor de 100.000 familias. La producción se concentra principalmente en las regiones de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia, que en conjunto representan el 90% de la producción nacional (Franco-Lara et al., 2023).

La papa presenta un amplio acervogenético compuesto por especies silvestres y cultivadas, donde la variabilidad de caracteres de las especies silvestres incluye tolerancia y resistencia a diferentes tipos de estrés biótico y abiótico, considerándose importante, ya que ha permitido y continuará permitiendo mejorar las variedades comerciales desde el punto de vista nutricional, agronómico, industrial y farmacéutico, constituyendo además una fuente genética relevante para enfrentar problemáticas climáticas y sanitarias (Gafforov et al., 2024; Tiwari et al., 2019; Soto et al., 2013).

La papa, al igual que otras solanáceas, enfrenta numerosos problemas fitosanitarios limitantes, incluyendo hongos, bacterias, virus, fitoplasmas e insectos vectores que afectan la producción, calidad de las cosechas y biodiversidad, con implicaciones en la seguridad alimentaria (Castillo Carrillo et al., 2018). Estas enfermedades comprometen significativamente su rendimiento, dando lugar a pérdidas económicas para los agricultores en diversas regiones del mundo (Wang & Su, 2024).

Entre las principales enfermedades que afectan actualmente a este cultivo en países como Estados Unidos, México o Nueva Zelanda, se encuentra el complejo Punta Morada de la Papa (PMP) y Zebra Chip (ZC), propagada por semillas y por el psílido de la papa comúnmente llamado "Paratrioza" (*Bactericera cockerelli*), el cual es vector de los patógenos *Ca. Phytoplasma* spp. y *Ca. L. Solanacearum*, causantes de la enfermedad (Castillo et al., 2022; Caicedo et al., 2015, 2020; Munyaneza, 2012). No obstante, en otras regiones productoras, como Colombia y Ecuador, su presencia ha sido reportada más recientemente, por lo que se consideran problemas fitosanitarios emergentes (Franco-Lara et al., 2023; Castillo Carrillo et al., 2018).

Los principales síntomas de la PMP incluyen coloración púrpura y amarillenta en los folíolos superiores, que tienden a erguirse y enrollarse, formación de tubérculos aéreos, una proliferación anormal de yemas axilares, escoba de bruja y filodia, reducción del crecimiento de la planta, clorosis, engrosamiento de los nudos, acortamiento de los

entrenados, aborto floral, crecimiento del tallo en forma de zigzag, necrosis del sistema vascular, una disminución significativa del rendimiento evidenciada por la ausencia de tubérculos o por la producción de numerosos tubérculos pequeños y de baja calidad, coloración púrpura del tejido vascular y necrosis en los tubérculos, causando grandes pérdidas económicas (Giaccaglia et al., 2024; Gutiérrez-Ibáñez et al., 2013; V. Mora et al., 2022; Nasir et al., 2007).

Se ha reportado que el complejo PMP ha alcanzado una incidencia de hasta el 80% en cultivos comerciales, con pérdidas de hasta el 50% (Castillo et al., 2018). En Colombia, se ha confirmado la presencia de *B. cockerelli* y *Ca. phytoplasma* spp en el departamento de Nariño (ICA, 2021), siendo estos departamentos determinantes en la participación de la producción nacional de papa y donde el cultivo está ligado a la cultura y economía campesina. Por lo anterior, la relevancia de evaluar y seleccionar la biodiversidad de una especie a frente a problemas que disminuyen la calidad y ponen en riesgo la producción, radica no solo en la preservación de este acervo genético, sino también en la caracterización exhaustiva de cada accesión. Esta caracterización incluye análisis biológicos, agronómicos, morfológicos y moleculares que permiten identificar fuentes de tolerancia o resistencia útiles para los programas de mejoramiento genético (J. A. Berdugo-Cely et al., 2021; J. Berdugo-Cely et al., 2017; Lado et al., 2017).

En este contexto, la evaluación fitosanitaria de colecciones de papa se ha utilizado ampliamente para caracterizar su respuesta frente a distintos patógenos y apoyar los procesos de selección en programas de mejoramiento genético. Estas evaluaciones integran variables agronómicas, morfológicas y sanitarias relacionadas con el desarrollo vegetativo, la aparición y progresión de síntomas, así como la producción y calidad de los tubérculos, lo que permite analizar la variabilidad existente entre genotipos y establecer criterios de selección. En este sentido, diversos estudios han aplicado enfoques experimentales para identificar patrones de respuesta diferencial y agrupar materiales según su comportamiento sanitario y productivo, lo que facilita el análisis conjunto de múltiples variables y la identificación de genotipos promisorios en programas de mejoramiento (Cuesta et al., 2020; Parga et al., 2011; Estrada, 1999). En el cultivo de la papa, se han realizado evaluaciones sanitarias para determinar el comportamiento del germoplasma frente a diversos agentes bióticos asociados a enfermedades del cultivo, entre ellos fitoplasmas (Maramorosch, 1998; Parga et al., 2011), virus (Salazar, 1995), hongos (Garza, 1999), bacterias como *Ca. L. Solanacearum* (Hansen et al., 2008) y oomicetos como *Phytophthora infestans*, (Diaz et al., 2018; Gebhardt, 2013; Kou y Wang, 2010). Estas evaluaciones, han permitido identificar mediante el análisis de variables de severidad de la enfermedad y rendimiento, parentales tolerantes o resistentes, promisorios para la obtención de genotipos mejorados. Para el caso puntual del complejo PMP, la evaluación de 214 genotipos de papa bajo condiciones sin control del vector en México, permitió identificar materiales con menor incidencia de síntomas y manchado interno en los tubérculos, evidenciando la utilidad de este tipo de evaluaciones en el desarrollo de materiales con capacidad de afrontar enfermedades limitantes en el cultivo (Parga et al., 2011).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta agronómica y sanitaria de 20 genotipos de papa guata nativa (*S. tuberosum* Grupo *Tuberosum*), conservadas dentro de la colección de trabajo de la Universidad de Nariño, frente al complejo PMP en zonas con presencia de la enfermedad, con el propósito de identificar genotipos con potencial agronómico para ser utilizados como parentales en futuros programas de mejoramiento genético, orientados a la mitigación de la enfermedad y a la reducción de las pérdidas económicas y de biodiversidad asociadas a su cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Localización

El ensayo de campo se estableció en marzo de 2025 en el corregimiento de Cabrera, municipio de Pasto, departamento de Nariño, Colombia, ubicado a 1° 12' 56,3" LN y 77° 12' 43,8" LO, a una altitud aproximada de 2.820 msnm, en un predio donde se identificó la presencia de síntomas de la enfermedad y el insecto vector.

Material vegetal

Se evaluaron 20 accesiones del grupo de papas guatas nativas y comerciales conservadas dentro de la colección de trabajo de papa de la Universidad de Nariño y cuatro testigos comerciales. Las accesiones clonales se describen en la Tabla 1.

Tabla 1.

*Datos de pasaporte de accesiones Clonales de criollas de la colección de trabajo de papa (*S. tuberosum*) de la Universidad de Nariño.*

Cod. de accesión	Nombre común	País	Municipio.	Altitud (msnm)	Donante
UdenarStGua07	Betina	Colombia	Cumbal	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua09	Leona	Colombia	Cumbal	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua12	Brasilera M4	Colombia	Cumbal	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua15	Guata uva	Colombia	Cumbal	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua18	Única	Colombia	Córdoba	2.897	Sigifredo Cuarán
UdenarStGua22	Guata 23	Colombia	Córdoba	2.897	Sigifredo Cuarán
UdenarStGua23	Chola Surco 25	Colombia	Tulcán	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua25	Chola	Ecuador	Tulcán	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua27	Nevada M6	Colombia	Cumbal	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua28	Pamba lisa	Colombia	Cumbal	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua29	Parda pastusa	Colombia	Cumbal	3.090	Maximil Quilisma
UdenarStGua30	Roja Nariño M1	Colombia	Pasto	2.806	Silvio Gelpud
UdenarStGua51	Sabanera	Colombia	Pasto	2.713	Silvio Gelpud
UdenarStGua55	CIP 377744.1	Perú	—	—	CIP

UdenarStGua58	CIP 387164.4	Perú	—	—	CIP
UdenarStGua59	CIP 389746.2	Perú	—	—	CIP
UdenarStGua77	CIP 393371.164	Perú	—	—	CIP
UdenarStGua85	CIP 395438.1	Perú	—	—	CIP
UdenarStGua94	CIP 398190.404	Perú	—	—	CIP
UdenarStGua99	CIP 399053.15	Perú	—	—	CIP

Diseño experimental

Los ensayos se condujeron bajo un Diseño de Bloques Aumentados (DBA), conforme a la metodología propuesta por Federer (1961), la cual permite evaluar un número elevado de tratamientos con limitada disponibilidad de material experimental para su replicación. El experimento estuvo conformado por cuatro bloques, con cinco tratamientos (accesiones) por bloque y cuatro testigos comerciales repetidos en cada bloque. Cada unidad experimental estuvo constituida por 10 plantas, establecidas a una distancia de 20 cm entre plantas y 90 cm entre surcos.

Manejo agronómico

Entre el período de emergencia y previo al inicio de la floración, a los 60 días después de la siembra no se realizó aplicaciones de insecticidas al follaje ni al suelo, con el fin de permitir la expresión natural de la sintomatología asociada al complejo PMP y evitar interferencias en la respuesta de los tratamientos. Como medida fitosanitaria complementaria, se establecieron franjas de plantas de papa a una distancia aproximada de 50 m alrededor del lote experimental, las cuales funcionaron como plantas trampa para la atracción y concentración de insectos vectores. En estas franjas se realizaron aplicaciones semanales de insecticidas comerciales, alternando mecanismos de acción de los productos y siguiendo las recomendaciones técnicas para bloquear la migración de insectos desde la parcela experimental a cultivos (Munyaneza, 2012) a new and economically important disease of potato (*Solanum tuberosum* L.. Adicionalmente, tanto en el lote experimental como en las franjas trampa, se realizaron aplicaciones semanales con fungicidas recomendados para el control de tizón tardío (*P. infestans*) (Cáceres et al., 2007).

Al finalizar el ensayo, los tubérculos cosechados se destinaron únicamente a consumo familiar, alimentación animal y pruebas de fritura, y en ningún caso se utilizaron como semilla. rastrojo proveniente de los reservorios y del lote experimental fue tratado mediante una aplicación postcosecha de insecticidas en mezcla y un herbicida, con el fin de garantizar la eliminación de vectores y material vegetal remanente actúa como reservorio de los patógenos asociados al complejo PMP. Para esto, se empleó Imidacloprid a una dosis de 70 g i.a./ha y Abamectina a 18 g i.a./ha. El glifosato se aplicó a una dosis de 1.080 g a.e./ha.

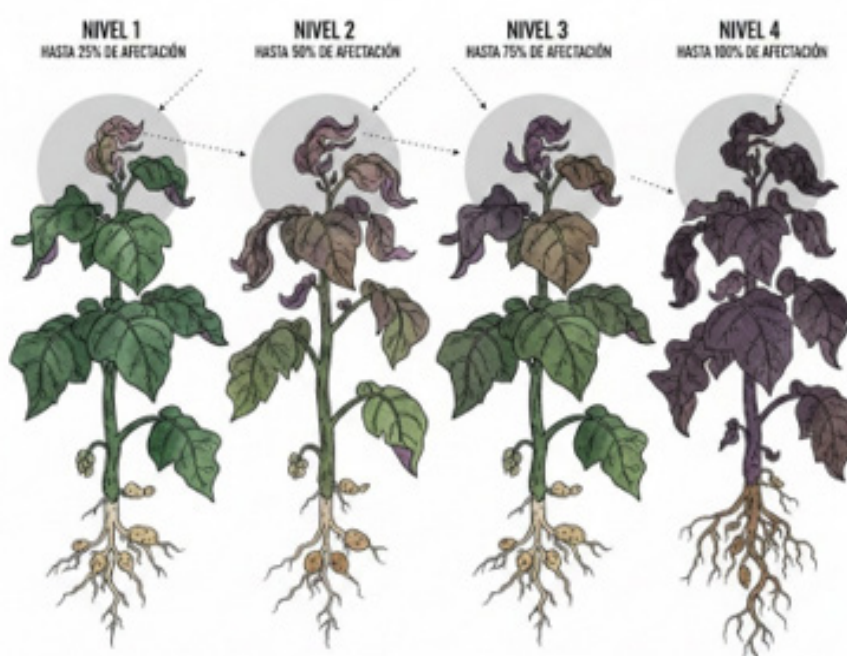
VARIABLES EVALUADAS

Se evaluaron las variables de desarrollo días a emergencia (DAE), días a floración (DAF), vigorosidad de planta (VP) y severidad de la enfermedad (SE), a partir de la cual se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC), de acuerdo con la metodología descrita por Jeger y Viljanen-Rollinson (2001). Las evaluaciones de VP y SE iniciaron a los 60 días después de la siembra y se registraron semanalmente hasta el final del ciclo del cultivo.

AUDPC se calculó con base en los datos de severidad de la enfermedad, evaluada mediante una valoración visual directa de la sintomatología foliar, basada en una escala ordinal modificada de 1 a 4 categorías de acuerdo a lo descrito por Cuesta et al. (2020), siguiendo criterios de evaluación visual de enfermedades de Bock et al. (2021), donde uno corresponde a plantas hasta con un 25% de afectación; dos a plantas hasta con un 50% de afectación; tres a una afectación de hasta el 75%, y cuatro correspondiente a las plantas consideradas con una afectación del 100%, con síntomas severos y generalizados (Fig. 1).

Figura 1.

Escaleta visual usada para estimar la SE y el AUDPC con cuatro niveles de afectación.



La vigorosidad de planta fue evaluada por un investigador previamente entrenado, quien registró el promedio del estado de cada parcela experimental, calculado de acuerdo a una escaleta modificada, que consta de cuatro categorías visuales (1-4), basada en el porte general de la planta, la uniformidad del crecimiento, el desarrollo foliar y la apariencia fisiológica (Cuesta et al., 2020), donde 1 corresponde a plantas débiles y muy débiles, caracterizadas por ser pequeñas, con escaso desarrollo foliar y apariencia debilitada,

tallos muy delgados y color verde claro; 2 son plantas con vigor intermedio y desarrollo normal; 3 corresponde a plantas con un crecimiento adecuado para el estado de desarrollo al momento del registro de la variable, robustas, con follaje de color verde oscuro, tallos gruesos y hojas muy desarrolladas; y 4 plantas muy vigorosas, con un crecimiento visiblemente superior a la categoría anterior, cobertura completa del suelo, robustas, con tallos gruesos y abundante follaje de color verde oscuro.

La cosecha se realizó en octubre de 2025, en la cual se registró el número de plantas cosechadas (NP) por unidad experimental, la producción total por planta (gr/planta), el número de tubérculos por planta y el rendimiento, calculado como la relación entre el peso total cosechado y el número de tubérculos obtenidos por categoría comercial. Dichas variables incluyeron el número de tubérculos de primera categoría (NTP) y su rendimiento (RTP), el número de tubérculos de segunda categoría (NTS) y su rendimiento (RTS) y el número de tubérculos de tercera categoría (NTT) y su rendimiento (RTT).

Los tubérculos cosechados se clasificaron en tres categorías basadas en la clasificación comercial. La categoría uno correspondió a tubérculos de 65 mm la categoría dos incluyó tubérculos de tamaño intermedio con diámetros de entre 45 y 64 mm y la categoría tres correspondió a tubérculos de menos de 45 mm (Mejía et al., 2021).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando la versión 0.1.7 del paquete augmentedRCBD, implementado en el entorno R, el cual integra procedimientos estadísticos validados para el análisis de Diseños de Bloques Completos Aleatorizados Aumentados (Aravind et al., 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuadrados medios del ANDEVA (Tabla 2) para el grupo de las Guatas, ajustados por tratamientos, indicaron que no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre genotipos para las variables de rendimiento ni para el VP, mientras que el AUDPC presentó diferencias altamente significativas, evidenciando contrastes reales en la progresión de la enfermedad entre los materiales evaluados. Este patrón sugiere que, durante el ciclo del ensayo, la presión epidemiológica del complejo PMP, aunque heterogénea entre genotipos, no alcanzó niveles suficientemente severos como para provocar reducciones diferenciadas en los componentes productivos, ya que varios materiales, mantuvieron su desempeño agronómico aún bajo distintos grados de infección.

La presencia simultánea de altos valores de AUDPC y rendimientos estables en ciertos genotipos respalda esta interpretación y es consistente con reportes en enfermedades vasculares sistémicas transmitidas por vectores en papa, donde puede presentarse tolerancia (mantenimiento del desempeño productivo o de calidad comercial) aún bajo infección y/o progreso de enfermedad, con desacople parcial entre severidad/síntomas y respuesta agronómica (Prager et al., 2022; Cruzado et al., 2020; Rashidi et al., 2017; Rubio-

Covarrubias et al., 2017). Resultados similares han sido reportados en evaluaciones de germoplasma silvestre de papa, donde algunas accesiones consideradas consideradas tolerantes a ZC mostraron síntomas foliares iniciales de la enfermedad alrededor de los 28 días después de la inoculación, pero fueron capaces de tolerar la infección y sobrevivir a la presencia de *Ca. L. solanacearum*. En contraste, las plantas susceptibles utilizadas como control, desarrollaron síntomas severos, marchitez progresiva y muerte eventual de las plantas. Estos hallazgos evidencian que la presencia de síntomas foliares no necesariamente implica una alta susceptibilidad, ya que ciertos genotipos pueden expresar mecanismos de tolerancia que les permiten mantener su viabilidad frente a la infección (Mora et al., 2022)

Tabla 2.

Cuadrados medios del ANDEVA para los componentes de rendimiento y el AUDPC de genotipos.

FV	Df	NTP	RTP	NTS	RTS	NTT	RTT	Vigor	AUDPC
Bloques (ignorando tratamientos)	3	1.75 ns	0.11 ns	8.03 ns	0.08 ns	13.65 ns	0.02 ns	0.29 ns	757682.07 **
Tratamientos (eliminando efecto de bloques)	23	5.24 ns	0.28 ns	15.34 ns	0.06 ns	50.46 ns	0.03 ns	0.11 ns	720160.20 **
Tratamiento: Testigo	3	4.09 ns	0.15 ns	11.70 ns	0.08 ns	24.51 ns	0.03 ns	0.04 ns	357673.40 *
Tratamientos en evaluación y comparación frente al testigo	20	5.41 ns	0.30 ns	15.89 ns	0.06 ns	54.35 ns	0.03 ns	0.13 ns	774533.22 **
Residuos	9	6.26	0.12	8.39	0.05	35.24	0.04	0.1	65,822.90

P>0.05*; P>0.01**, ns= no significativo, NTP: Numero de tubérculos de primera categoría; RTP: Rendimiento de tubérculos de primera categoría; NTS: Número de tubérculos de segunda categoría; RTS: Rendimiento de tubérculos de segunda categoría; NTT. Número de tubérculos de tercera categoría; RTT: Rendimiento de tubérculos de tercera categoría.

Además, el contraste entre los genotipos evaluados y los testigos comerciales fue significativo para el rendimiento de tubérculos de primera y segunda categoría, lo que indica que varios materiales en evaluación superaron productivamente a los testigos bajo niveles comparables de severidad de la enfermedad, ya que no se detectaron diferencias estadísticas en AUDPC entre ambos grupos.

Las diferencias significativas en AUDPC y la ausencia de diferencias estadísticas

en rendimiento y vigor indican que, bajo las condiciones del ensayo, la progresión del complejo PMP no se reflejó en reducciones productivas detectables entre los genotipos evaluados, ya que, dentro del rango de severidad observado, varios materiales mantuvieron su desempeño agronómico. La magnitud y variabilidad del AUDPC registrada es consistente con reportes en papa para enfermedades sistémicas transmitidas por vectores, donde se han documentado amplios rangos de progreso epidémico entre genotipos y ciclos de cultivo, sin que ello se traduzca necesariamente en disminuciones proporcionales del rendimiento o de la calidad comercial. En este contexto, la literatura resalta la importancia de evaluar de manera conjunta la severidad de la enfermedad y los componentes productivos, así como de validar la relación severidad–rendimiento en múltiples ambientes y años, antes de establecer conclusiones sobre la estabilidad de la tolerancia o susceptibilidad de los genotipos (Cruzado et al., 2020; Rashidi et al., 2017; Rubio-Covarrubias et al., 2017).

Los valores de AUDPC evidenciaron una amplia variabilidad en la respuesta de los genotipos frente a la enfermedad, con rangos entre 3046,94 (Guata 07) y 6583,69 (Guata 09), mientras que los testigos presentaron valores intermedios (3789,25–4470,50) (Tabla 3). Genotipos como Guata 07, Guata 27, Guata 29, Guata 30 y Guata 58 presentaron los valores más bajos de AUDPC, lo que indica una menor progresión de la enfermedad, mientras que Guata 09, Guata 12 y Guata 51 registraron los valores más altos.

Tabla 3.

Medias ajustadas del AUDPC, componentes de rendimiento y vigor en genotipos de papa Guata evaluados bajo el complejo PMP.

Tratamiento	Bloque	AUDPC		NTP	NTS	NTT	RTP	RTS	RTT	Vigor
Check1	–	4470.5	b	4.6	5.66	7.74	0.7	0.4	0.3	1.55
Check2	–	4185.3	b	2.54	2.32	2.59	0.3	0.1	0.1	1.45
Check3	–	4361.8	b	4.41	5.43	7.23	0.6	0.3	0.2	1.7
Check4	–	3789.3	c	3.05	2.9	7.6	0.3	0.2	0.2	1.53
Guata 58	1	3395.9	d	4.9	6.83	7.23	0.9	0.6	0.2	1.06
Guata 07	4	3046.9	d	7.92	5.23	2.45	1.6	0.5	0.1	0.98
Guata 09	2	6583.7	a	3.54	9.55	20.4	0.4	0.6	0.4	1.91
Guata 12	4	5990.9	a	4.67	6.54	4.98	0.7	0.5	0.2	1.48
Guata 15	1	4109.9	b	6.85	4.67	6.48	1.6	0.5	0.2	1.76
Guata 18	2	4120.7	b	4.24	4.66	3.83	1	0.6	0.2	1.71
Guata 22	3	4442.4	b	4.44	5.77	6.32	0.5	0.4	0.2	1.66
Guata 23	1	4608.9	a	10.1	11.6	10.4	1.3	0.8	0.2	1.26
Guata 25	2	4571.7	b	4.99	7.55	7.3	0.7	0.5	0.3	1.91
Guata 27	4	3282.9	d	1.3	2.16	6.33	0.2	0.2	0.1	1.48
Guata 28	4	4343.9	b	3.81	1.83	0.98	0.3	0.2	0	1.78
Guata 29	3	3296.4	d	6.54	13.9	30.3	0.6	0.7	0.8	1.36
Guata 30	1	3312.9	d	7.05	16.8	20.2	0.7	0.9	0.5	2.26
Guata 51	1	5516.9	a	6.15	4.47	2.48	1	0.3	0.1	1.26

Guata 55	3	4132.4	b	9.23	6.38	1.65	1.8	0.4	0.1	1.66
Guata 59	2	4278.7	b	3.53	2.96	1.75	1	0.2	0.1	0.91
Guata 77	2	3617.7	c	6.29	0.93	1.25	1.6	0.1	0	1.71
Guata 85	3	3906.4	c	3.69	4.25	6.25	0.6	0.3	0.2	0.86
Guata 94	4	3894.9	c	2.08	3.05	1.89	0.5	0.3	0.1	1.48
Guata 99	3	4542.4	b	2.34	2.67	1.62	0.2	0.1	0.1	1.56

El número de tubérculos de primera categoría por planta (NTP) varió entre genotipos, con valores máximos en Guata 23 (10,05) y Guata 55 (9,23), superiores a los observados en los testigos (Tabla 3). En términos de rendimiento de primera categoría (RTP), Guata 55 (1,84 kg planta⁻¹), Guata 07 (1,63), Guata 15 (1,61) y Guata 77 (1,60) presentaron los mayores valores (Tabla 3). La mayor proporción del rendimiento destinada a tubérculos de primera categoría sugiere una mayor capacidad de estos genotipos para sostener el llenado del tubérculo bajo las condiciones del ensayo.

En enfermedades sistémicas de la papa, se ha documentado que la alteración en el transporte de fotoasimilados afecta principalmente el tamaño y la uniformidad del tubérculo, más que el número total producido (Anderson et al., 2013; Lin & Gudmestad, 2013; Munyaneza, 2011) particularly in the North Island. TPP and Zebra chip (ZC, por lo que la presencia de genotipos con altos valores de RTP resulta particularmente relevante desde el punto de vista agronómico y comercial. En este estudio, los genotipos con mayor producción de primera categoría superaron claramente a los testigos, lo que refuerza su interés para evaluaciones avanzadas en zonas con presencia del complejo PMP.

Para la segunda categoría se observó un comportamiento diferencial entre genotipos. Guata 30 (16,77) y Guata 29 (13,87) presentaron los valores más altos de NTS, mientras que Guata 30 (0,91 kg planta⁻¹), Guata 23 (0,76) y Guata 29 (0,73) registraron los mayores valores de RTS (Tabla 3). Este patrón indica diferencias entre genotipos en la distribución del rendimiento por calibre, lo cual puede afectar la proporción de tubérculos comercialmente preferidos aun cuando el rendimiento total no cambie de forma marcada. En complejos asociados a patógenos como PMP, se ha documentado que la enfermedad puede inducir reducción del tamaño comercial, incremento de tubérculos pequeños y alteraciones en el desarrollo del tubérculo, especialmente cuando la infección ocurre tempranamente o cuando se presenta senescencia prematura, lo que se refleja en cambios de la estructura del rendimiento más que en el número total de tubérculos (V. Mora et al., 2022; O'Shaughnessy et al., 2022; Zwolinski, 2013).

En el caso de la tercera categoría, los valores de NTT y RTT fueron mayores en Guata 29 (30,32; 0,81) y Guata 30 (20,18; 0,53), lo que sugiere una mayor proporción de tubérculos pequeños en estos genotipos (Tabla 3). Este comportamiento puede relacionarse con diferencias genéticas del material y con el impacto del complejo sobre el crecimiento y llenado del tubérculo, lo que tiende a desplazar parte del rendimiento hacia calibres de menor valor comercial. En contraste, Guata 28, Guata 55, Guata 59 y Guata 77 presentaron valores bajos de NTT y RTT, lo cual indica una mejor proporción del rendimiento hacia categorías de mayor valor comercial en las condiciones del ensayo. Estos resultados

resaltan la utilidad de incorporar, además del AUDPC, indicadores de calidad comercial del rendimiento para discriminar genotipos en ambientes con presencia del complejo PMP (V. Mora et al., 2022; O'Shaughnessy et al., 2022).

El rendimiento estimado a partir de la suma de los tubérculos de primera y segunda categoría (RTP + RTS) presentó una variación entre 0,3 kg planta⁻¹ en el genotipo Guata 99 y 2,2 kg planta⁻¹ en Guata 55 (Tabla 3). Este rango productivo se encuentra dentro e incluso por encima de los niveles de rendimiento previamente reportados para papa guata en el departamento de Nariño bajo condiciones de manejo convencional. En este contexto, Madroñero et al. (2013) documentaron rendimientos entre 0,53 y 1,25 kg planta⁻¹ para la mayoría de los 102 genotipos de papa andígena evaluados en una caracterización morfoagronómica. En comparación con estos antecedentes, varios de los genotipos evaluados en el presente estudio alcanzaron rendimientos equivalentes o superiores, lo que evidencia su potencial productivo y sugiere que estos materiales mantienen un desempeño agronómico competitivo en las condiciones agroecológicas del sur de Colombia.

El comportamiento productivo observado en esta evaluación, se relaciona con la variabilidad observada en otras variables agronómicas evaluadas, como el número de tubérculos por categoría y el vigor de planta, las cuales influyen directamente en la conformación del rendimiento final. En este sentido, genotipos como Guata 07, Guata 15, Guata 23, Guata 55 y Guata 77 presentaron valores superiores a 1,5 kg planta⁻¹, evidenciando una mayor capacidad de producción de tubérculos comerciales (primera y segunda categoría). Estos resultados resaltan la diversidad en el potencial productivo de los genotipos de papa y confirman que el rendimiento en papa está fuertemente influenciado por la variabilidad genética entre genotipos (Madroñero et al., 2013).

Por otra parte, en evaluaciones agronómicas de papa criolla realizadas en la región, Martínez y Lagos (2021) evaluaron diferentes genotipos de papa criolla bajo niveles reducidos de fertilización (60, 70 y 80%), tomando como referencia una dosis base de 900 kg ha⁻¹ de NPK, comúnmente utilizada en los sistemas productivos del departamento de Nariño. En dicho estudio se reportaron rendimientos que oscilaron entre 13 y 29 t ha⁻¹ en Ipiales, entre 17 y 26 t ha⁻¹ en Botana (Pasto) y valores cercanos a 40–50 t ha⁻¹ en Gualmatán, que dependieron tanto del genotipo evaluado como del nivel de fertilización aplicado. Asimismo, los autores señalaron que los mayores rendimientos se obtuvieron con los niveles de fertilización del 60 y 70%, los cuales resultaron comparables con el nivel de fertilización empleado en el presente estudio (900 kg ha⁻¹ de NPK). En contraste, los resultados obtenidos en este trabajo evidencian rendimientos superiores, ya que el rango de producción estimado, ajustado a toneladas por hectárea, osciló entre 10 y 73,3 t ha⁻¹, superando ampliamente los valores reportados en el ensayo de fertilización mencionado.

Teniendo en cuenta que aunque la dosis de fertilización utilizada en esta investigación fue ligeramente superior a la utilizada por Martínez y Lagos-Burbano (2021), este factor por sí solo no explicaría los mayores rendimientos observados en algunos genotipos evaluados, ya que diversos estudios han demostrado que incrementos en la fertilización por

encima de ciertos niveles no necesariamente se traducen en aumentos significativos del rendimiento, debido a limitaciones en la asimilación de nutrientes por parte de la planta o a que el cultivo solo requiere la extracción de cantidades específicas de elementos minerales (Mora et al., 2021; Morales et al., 2018). En este sentido, los rendimientos registrados en el presente estudio podrían estar asociados principalmente a factores genéticos de los genotipos evaluados. Asimismo, a pesar de la presión de infección del complejo PMP en el presente en el ensayo, el hecho de que varios genotipos evaluados mantuvieran niveles de producción comparables o superiores a los reportados para sistemas de producción regionales, sugiere que, bajo las condiciones fertilización del ensayo, la presencia del complejo PMP no generó reducciones sustanciales en la productividad de varios genotipos, comparados con los testigos, quienes mostraron rangos de rendimientos inferiores a los observados los tratamientos (13.3 a 36.7 t ha⁻¹).

El vigor de la planta evaluado en la última medición previa a la cosecha mostró valores que oscilaron entre 0,91 (Guata 59) y 2,26 (Guata 30), y en general la mayoría de los genotipos presentó niveles comparables o superiores a los testigos (Tabla 3). Genotipos como Guata 30, Guata 25, Guata 09 y Guata 28 registraron mayor vigor vegetativo, lo que indica una adecuada capacidad de crecimiento aéreo bajo las condiciones del ensayo. No obstante, este mayor desarrollo vegetativo no se asoció necesariamente con menores valores de AUDPC, lo que evidencia que el vigor y la progresión del complejo PMP no siguieron una relación directa en este ciclo productivo. Se ha documentado que la infección puede coexistir con un crecimiento vegetativo aparentemente normal durante parte del ciclo, mientras se producen alteraciones fisiológicas internas que afectan el transporte de fotoasimilados o la calidad del tubérculo, lo que explica la ausencia de una correspondencia simple entre biomasa aérea y severidad visual (Lin & Gudmestad, 2013; Munyaneza, 2012).

En este estudio, los rangos de AUDPC observados pueden considerarse moderados a altos para evaluaciones de campo bajo presión natural del complejo de punta morada. Estos valores son comparables con los reportados en ensayos realizados en ambientes con presencia endémica del complejo patógeno–vector asociado a la enfermedad, donde se enfatiza la necesidad de analizar de manera conjunta variables como vigor, severidad y rendimiento para discriminar adecuadamente el comportamiento agronómico de los genotipos (O’Shaughnessy et al., 2022).

El análisis conjunto del AUDPC, las variables productivas y el vigor indica que varios genotipos de papa guata presentaron un comportamiento agronómico favorable, caracterizado por valores de severidad acumulada inferiores o cercanos a los de los tratamientos testigo y por una producción estable de tubérculos comerciales (Tabla 3).

Los valores de AUDPC registrados en este estudio (3046,94–6583,69) se ubican dentro del rango reportado para evaluaciones de campo bajo presión natural de enfermedades sistémicas transmitidas por vectores en papa, donde se han documentado niveles similares o superiores de progreso epidémico dependiendo del momento de infección, la intensidad del vector y el ambiente (Lin & Gudmestad, 2013; Munyaneza, 2012;

O'Shaughnessy et al., 2022). En este contexto, genotipos como Guata 07, Guata 15, Guata 23, Guata 55 y Guata 77 combinaron valores relativamente bajos de AUDPC con altos rendimientos de tubérculos de primera categoría, lo que los identifica como materiales promisorios para su evaluación en sistemas productivos con presencia del complejo PMP, particularmente en escenarios donde la estabilidad del rendimiento comercial es un criterio prioritario de selección.

CONCLUSIONES

Los genotipos de papa guata evaluados mostraron una marcada variabilidad en la dinámica de progresión del complejo de punta morada (PMP), reflejada en diferencias significativas en el AUDPC. Sin embargo, las variables relacionadas con el rendimiento por categorías comerciales y el vigor vegetativo no evidenciaron diferencias estadísticas entre genotipos en el ciclo y las condiciones ambientales evaluadas.

Algunos genotipos, particularmente Guata 07, Guata 15, Guata 23, Guata 55 y Guata 77, combinaron valores relativamente bajos de AUDPC con alto rendimiento de tubérculos de primera categoría, lo que los identifica como materiales promisorios para evaluaciones posteriores en sistemas productivos con presencia del complejo PMP.

Los resultados resaltan la necesidad de validar el comportamiento agronómico y sanitario de estos materiales en múltiples ambientes y ciclos productivos, así como de integrar análisis que relacionen la severidad de la enfermedad con los componentes del rendimiento, antes de establecer conclusiones definitivas sobre la tolerancia o resistencia genética.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. A. D., Walker, G. P., Alspach, P. A., Jeram, M., & Wright, P. J. (2013). Assessment of Susceptibility to Zebra Chip and *Bactericera cockerelli* of Selected Potato Cultivars under Different Insecticide Regimes in New Zealand. *American Journal of Potato Research*, 90(1), 58-65. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9276-x>
- Aravind, J., Sankar, S. M., Wankhede, D. P., & Kaur, V. (2023). *augmentedRCBD: Analysis of Augmented Randomised Complete Block Designs*.
- Berdugo-Cely, J. A., Martínez-Moncayo, C., & Lagos-Burbano, T. C. (2021). Genetic analysis of a potato (*Solanum tuberosum* L.) breeding collection for southern Colombia using Single Nucleotide Polymorphism (SNP) markers. *PLOS ONE*, 16(3), e0248787. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248787>
- Berdugo-Cely, J., Valbuena, R. I., Sánchez-Betancourt, E., Barrero, L. S., & Yockteng, R. (2017). Genetic diversity and association mapping in the Colombian Central Collection of *Solanum tuberosum* L. Andigenum group using SNPs markers. *PLOS ONE*, 12(3), e0173039. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173039>

- Bock, C. H., Chiang, K.-S., & Del Ponte, E. M. (2021). Plant disease severity estimated visually: A century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology*, 47(1), 25-42. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00439-z>
- Cáceres, P. A., Pumisacho, M., Forbes, G. A., & Andrade-Piedra, J. L. (2007). *Guía para facilitar el aprendizaje sobre control de tizón tardío de la papa* (Shirma Guzmán) [Digital]. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP), Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENACYT). (Obra original publicada en Quito, Ecuador)
- Caicedo J., Crizón M., Pozo A., Cevallos A., Simbaña L., Rivera L., & Arahana V. (2015). First report of ‘*Candidatus Phytoplasma aurantifolia*’ (16SrII) associated with potato purple top in San Gabriel-Carchi, Ecuador. *New Disease Reports*, 32(1), 20-20. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2015.032.020>
- Caicedo, J. D., Simbaña, L. L., Calderón, D. A., Lalangui, K. P., & Rivera-Vargas, L. I. (2020). First report of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ in Ecuador and in South America. *Australasian Plant Disease Notes*, 15(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s13314-020-0375-0>
- Castillo, C., Ribera, V., Gill, U., Rengifo, J., & Secor, G. (2022). ‘*Candidatus Phytoplasma americanum*’ identification in potatoes showing purple top disease in Ecuador. *Phytopathogenic Mollicutes*, 12(2), 114-118. <https://doi.org/10.5958/2249-4677.2022.00051.2>
- Castillo Carrillo, C., Paltrinieri, S., Bustamante, J. B., & Bertaccini, A. (2018). Detection and molecular characterization of a 16SrI-F phytoplasma in potato showing purple top disease in Ecuador. *Australasian Plant Pathology*, 47(3), 311-315. <https://doi.org/10.1007/s13313-018-0557-9>
- Cruzado, R. K., Rashidi, M., Olsen, N., Novy, R. G., Wenninger, E. J., Bosque-Pérez, N. A., Karasev, A. V., Price, W. J., & Rashed, A. (2020). Effect of the level of “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” infection on the development of zebra chip disease in different potato genotypes at harvest and post storage. *PLOS ONE*, 15(4).
- Cuesta, X., Rivadeneira, J., & Monteros, C. (2020). *Mejoramiento Genético de papa: Conceptos, procedimientos, metodologías y protocolos* (Vol. 426) [Digital]. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/9fedb3c3-fe8c-41de-8116-09cfb195b2f7>
- Díaz, J. S., Caicedo, Y. A., Caro, A. E., Pardo, X. A., García, Y. A., & Arcila, I. M. (2018). Evaluación de tres variedades de papa criolla en rendimiento, resistencia y susceptibilidad a *Phytophthora infestans* bajo fertilización orgánica. *Ciencias Agropecuarias*, 4(1), 3-8. <https://doi.org/10.36436/24223484.238>

- Estrada, R. N. (1999). *La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa*. Centro de Información para el desarrollo. (Obra original publicada en Centro Internacional de la Papa)
- Federer, W. T. (1961). Augmented Designs with One-Way Elimination of Heterogeneity. *Biometrics*, 17(3), 447-473. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/2527837>
- Franco-Lara, L., Varela-Correa, C. A., Guerrero-Carranza, G. P., & Quintero-Vargas, J. C. (2023). Association of phytoplasmas with a new disease of potato crops in cundinamarca, Colombia. *Crop Protection*, 163, 106123. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106123>
- Gafforov, Y., Rašeta, M., Zafar, M., Makhkamov, T., Yarasheva, M., Chen, J.-J., Zhumagul, M., Wang, M., Ghosh, S., Abbasi, A. M., Yuldashev, A., Mamarakhimov, O., Alosaimi, A. A., Berdieva, D., & Rapior, S. (2024). Exploring biodiversity and ethnobotanical significance of *Solanum* species in Uzbekistan: Unveiling the cultural wealth and ethnopharmacological uses. *Frontiers in Pharmacology*, 14, 1287793. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1287793>
- Garza, L. (1999). Control de la marchitez de la planta y necrosis interna del tubérculo en papa en Coahuila y Nuevo León. *Campo Experimental Saltillo, INIFAP. Folleto Técnico*, (1).
- Gebhardt, C. (2013). Bridging the gap between genome analysis and precision breeding in potato. *Trends in Genetics*, 29(4), 248-256. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2012.11.006>
- Giaccaglia, G., Carrillo, C. C., Pacini, F., & Bertaccini, A. (2024). Phloem Limited Bacteria in Potato with Purple Top Disease and in *Bactericera cockerelli* in Ecuador. *Phytopathogenic Mollicutes*, 14(1), 31-42. <https://doi.org/10.5958/2249-4677.2024.00004.4>
- Gutiérrez-Ibáñez, A. T., Pale, J. R. S., Cerda, A. L., Dávila, J. F. R., Melgarejo, A. B., & Gómez, O. G. A. (2013). *Detección de Ca Liberibacter solanacearum y fitoplasmas en cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en el Valle de Toluca*. (1).
- Hansen, A., Trumble, J., Stouthamer, R., & Paine, T. (2008). A new huanglongbing species, "Candidatus *Liberibacter psyllauros*," found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). *Applied and environmental microbiology*, 74(18), 5862-5865.
- ICA. (2021). *Complejo Bactericera cockerelli Sulc (Hemiptera: Triozidae) – Punta Morada de la Papa*. Instituto Colombiano Agropecuario. <https://www.ica.gov.co/micrositios/puntamorada>

- Jeger, M. J., & Viljanen-Rollinson, S. L. H. (2001). The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars: *Theoretical and Applied Genetics*, *102*(1), 32-40. <https://doi.org/10.1007/s001220051615>
- Kou, Y., & Wang, S. (2010). Broad-spectrum and durability: Understanding of quantitative disease resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, *13*(2), 181-185. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.12.010>
- Křížkovská, B., Viktorová, J., & Lipov, J. (2022). Approved Genetically Modified Potatoes (*Solanum tuberosum*) for Improved Stress Resistance and Food Safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *70*(38), 11833-11843. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c03837>
- Lado, B., Battenfield, S., Guzmán, C., Quincke, M., Singh, R. P., Dreisigacker, S., Peña, R. J., Fritz, A., Silva, P., Poland, J., & Gutiérrez, L. (2017). Strategies for Selecting Crosses Using Genomic Prediction in Two Wheat Breeding Programs. *The Plant Genome*, *10*(2), plantgenome2016.12.0128. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2016.12.0128>
- Lin, H., & Gudmestad, N. C. (2013). Aspects of Pathogen Genomics, Diversity, Epidemiology, Vector Dynamics, and Disease Management for a Newly Emerged Disease of Potato: Zebra Chip. *Phytopathology*®, *103*(6), 524-537. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-12-0238-RVW>
- Madroñero, I. C., Rosero, J., Rodríguez, L., Navia, J., & Benavides. (2013). MORPHO-AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF PROMISING NATIVE CREOLE POTATO GENOTYPES. *TEMAS AGRARIOS*, *18*(2). <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/445>
- Maramorosch, K. (1998). Current status of potato purple top wilt. *International Journal of Tropical Plant Diseases*, *16*(1), 61-72. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20033139331>
- Martinez, C., & Lagos, T. C. (2021). *Respuesta de genotipos de Solanum tuberosum grupo Phureja a diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra* (Vol. 1). Universidad de Nariño. <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/7327>
- Mejía, D. F., Valencia, L. F., Latorre, L. I., & Trejo, D. M. (2021). *5 Manual de procedimientos agroindustrial* (Vol. 1) [Digital]. Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/7449/1/5%20Manual%20de%20procedimientos.pdf>
- Mora, S. R., Flores Ayala, S., Chulde Minda, J., Puetate Mejía, L., & Revelo Ruales, V. (2021). Alternativas de fertilización empleando bioestimulantes y biofertilizantes para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), en Montúfar—Carchi. *SATHIRI*, *16*(1),

132-143. <https://doi.org/10.32645/13906925.1045>

- Mora, V., Ramasamy, M., Damaj, M. B., Irigoyen, S., Ancona, V., Avila, C. A., Vales, M. I., Ibanez, F., & Mandadi, K. K. (2022). Identification and Characterization of Potato Zebra Chip Resistance Among Wild *Solanum* Species. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 857493. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.857493>
- Morales, J. L., Hernández Martínez, J., & Rebollar Rebollar, S. (2018). Rendimiento de papa con fuentes de fertilización mineral en un Andosol del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *4*(6), 881-893. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i6.1156>
- Munyanza, J. E. (2011). Zebra Chip Disease of Potato: Biology, Epidemiology, and Management. *American Journal of Potato Research*, *89*(5), 329-350. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9262-3>
- Munyanza, J. E. (2012). Zebra Chip Disease of Potato: Biology, Epidemiology, and Management. *American Journal of Potato Research*, *89*(5), 329-350. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9262-3>
- Nasir, M. M., Mughal, S. M., & Khan, S. M. (2007). Occurrence, distribution and detection of potato purple top phytoplasma disease in the Punjab (Pakistan). *60*(2), 377-378.
- O'Shaughnessy, S. A., Rho, H., Colaizzi, P. D., Workneh, F., & Rush, C. M. (2022). Impact of zebra chip disease and irrigation levels on potato production. *Agricultural Water Management*, *269*, 107647. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107647>
- Parga, V. M., Garza, C. N. O., Villa, M. Z., Escalante, F. B., Narro, A., Manuel, J., Ramírez, C., Benítez, A. L., León, H. A., & Terán, G. (2011). Evaluación, Selección y Caracterización de Genotipos de Papa Tolerantes al Síndrome de Punta Morada. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *29*(1). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092011000100002&lng=es&tlng=es
- Prager, S. M., Cohen, A., Cooper, W. R., Novy, R., Rashed, A., Wenninger, E. J., & Wallis, C. (2022). A comprehensive review of zebra chip disease in potato and its management through breeding for resistance/tolerance to «*Candidatus Liberibacter solanacearum*» and its insect vector. *Pest Management Science*, *78*(9), 3731-3745. <https://doi.org/10.1002/ps.6913>
- Rashidi, M., Novy, R. G., Wallis, C. M., & Rashed, A. (2017). Characterization of host plant resistance to zebra chip disease from species-derived potato genotypes and the identification of new sources of zebra chip resistance. *PLOS ONE*, *12*(8), e0183283. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183283>
- Rubio-Covarrubias, O. A., Cadena-Hinojosa, M. A., Prager, S. M., Wallis, C. M., & Trumble,

- J. T. (2017). Characterization of the Tolerance against Zebra Chip Disease in Tubers of Advanced Potato Lines from Mexico. *American Journal of Potato Research*, 94(4), 342-356. <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9570-8>
- Salazar, L. (1995). Los virus de la Papa y su control. 1995. Ed. *CIP Centro Internacional de la Papa*.
- Soto, J., Medina, T., Aquino, Y., & Estrada, R. (2013). Diversidad genética de papas nativas (*Solanum*spp.) conservadas en cultivares nativos del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 20(3), 215-222. <https://doi.org/10.15381/rpb.v20i3.5216>
- Tiwari, J. K., Ali, N., Devi, S., Zinta, R., Kumar, V., & Chakrabarti, S. K. (2019). Analysis of allelic variation in wild potato (*Solanum*) species by simple sequence repeat (SSR) markers. *3 Biotech*, 9(7), 262. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1785-6>
- Wang, R.-F., & Su, W.-H. (2024). The Application of Deep Learning in the Whole Potato Production Chain: A Comprehensive Review. *Agriculture*, 14(8), 1225. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081225>
- Zhang, Z., Zhang, P., Ding, Y., Wang, Z., Ma, Z., Gagnon, E., Jia, Y., Cheng, L., Bao, Z., Liu, Z., Wu, Y., Hu, Y., Lian, Q., Lin, W., Wang, N., Ye, K., Wang, H., Zhang, J., Zhou, Y., ... Huang, S. (2025). Ancient hybridization underlies tuberization and radiation of the potato lineage. *Cell*, 188(19), 5249-5265.e15. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.06.034>
- Zwolinski, M. (2013). *Bactericera cockerelli*. *EPP0 Bulletin*, 43(2), 202-208. <https://doi.org/10.1111/epp.12044>



LA AMAZONIA COLOMBIANA FRENTE A LOS DESAFÍOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE: PERSPECTIVAS DESDE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

The Colombian Amazon and the Challenges of Sustainable Development: Interpretive Perspectives from Agricultural Production.

Edna Milena Murcia Artunduaga¹

 <https://orcid.org/0009-0000-8076-6046>

 edna.murcia@udla.edu.co

Yudi Marcela Ramos Prias¹

 <https://orcid.org/0009-0006-9140-3287>

 y.ramos@udla.edu.co

¹Universidad de la Amazonia, Estudiante del Programa de Maestría en Sistemas Sostenibles de Producción, Florencia, Caquetá, Colombia.

Adrián Rolando Riascos Vallejos²

 <https://orcid.org/0000-0001-6627-9372>

 coariasco@sena.edu.co

Adriana Eugenia Suarez Salazar¹

 <https://orcid.org/0000-0002-1335-9747>

 ad.suarez@udla.edu.co

²Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Centro agroforestal y Acuícola Arapaima Regional Putumayo, Puerto Asís, Putumayo, Colombia.

RESUMEN

La Amazonia colombiana, uno de los biomas más biodiversos del planeta, enfrenta una tensión estructural entre la expansión de la frontera agropecuaria y la conservación de sus ecosistemas (Ruiz- Agudelo et al., 2022). Este artículo analiza los desafíos del desarrollo sostenible en la región desde la perspectiva de la producción agropecuaria, empleando una revisión narrativa e interpretativa basada en literatura científica publicada entre 2018 y 2025. La búsqueda se realizó en bases de datos internacionales (Scopus y Web of Science) y regionales (SciELO, Redalyc y Dialnet), seleccionando 19 estudios con revisión por pares y enfoque interdisciplinario. Los resultados se organizaron en tres ejes interpretativos: (i) las transformaciones territoriales y los desafíos ecológicos asociados al cambio de uso del suelo y la deforestación; (ii) las innovaciones agropecuarias que integran productividad y restauración ecológica; y (iii) la gobernanza y las estrategias institucionales necesarias para una gestión participativa del territorio. Se concluye que la sostenibilidad amazónica requiere articular la producción con la conservación, la equidad social y la planificación territorial. La transición hacia modelos sostenibles depende de la presencia institucional, la seguridad jurídica, el fortalecimiento de capacidades locales y la implementación de políticas coherentes e inclusivas. En este sentido, la producción agropecuaria se configura como un eje estratégico para construir un modelo territorial resiliente, justo y ambientalmente sostenible para la Amazonia colombiana.

PALABRAS CLAVES:

Amazonía Colombiana, Desarrollo Sostenible, Producción Agropecuaria, Gobernanza Territorial, Restauración Ecológica, Resiliencia Socioambiental.

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 27 de Noviembre de 2025 / Fecha Aprobación: 17 de Febrero 2026 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Murcia Artunduaga, E. M., Ramos Prias, Y. M., Riascos Vallejos, A. R. & Suarez Salazar, A. E. (2026). *La Amazonia colombiana frente a los desafíos del desarrollo sostenible: perspectivas desde la producción agropecuaria*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 118-132. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a7>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 18 Num. 1, enero-junio de 2026

ABSTRACT

The Colombian Amazon, one of the most biodiverse biomes on the planet, faces a structural tension between the expansion of the agricultural frontier and the conservation of its ecosystems. This article analyzes the challenges of sustainable development in the region from the perspective of agricultural production through a narrative and interpretative review of scientific literature published between 2018 and 2025. The search was conducted in major international databases (Scopus and Web of Science) and complemented with regional sources (SciELO, Redalyc, and Dialnet), selecting 19 peer-reviewed and interdisciplinary studies. The findings are organized into three interpretative axes: (i) territorial transformations and ecological challenges associated with land-use change and deforestation; (ii) sustainable agricultural innovations—such as agroforestry and silvopastoral systems—that integrate productivity with ecological restoration; and (iii) governance and institutional strategies aimed at participatory land management. The study concludes that Amazonian sustainability requires articulating production with conservation, social equity, and territorial planning. The transition toward sustainable models depends on effective institutional presence, land-tenure security, capacity-building among local actors, and coherent, inclusive public policies. In this context, agricultural production emerges as a strategic axis for building a resilient, equitable, and environmentally sustainable territorial model for the Colombian Amazon

KEYWORDS

Colombian Amazon,
Sustainable
Development,
Agricultural Production,
Territorial Governance,
Ecological Restoration,
Socio-Environmental
Resilience

INTRODUCCIÓN

La región amazónica de Colombia constituye uno de los biomas más biodiversos del planeta, con cerca de 48 millones de hectáreas que actúan como sumidero de carbono y regulador climático regional (Ruiz- Agudelo et al., 2022). Representa uno de los territorios más estratégicos para el equilibrio ecológico, climático y socioeconómico del país; con una extensión de 483.163 km², equivalente al 42% del territorio nacional, constituye el núcleo de la conectividad biológica de la cuenca amazónica y un reservorio crítico de recursos naturales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). Sus bosques amazónicos albergan más de 8.600–9.400 especies de flora y alrededor de 1.300 especies de vertebrados y aporta cerca del 37% de la escorrentía superficial de Colombia, lo que la posiciona como pilar de sostenibilidad ambiental y regulador climático de importancia global (Gaia Amazonas, 2024).

Sin embargo, esta misma región refleja los dilemas más complejos del desarrollo contemporáneo: la tensión constante entre producir y conservar, entre las necesidades de las poblaciones locales y las demandas de los mercados globales (Armenteras, Schneider, Dávalos, 2019). Durante la última década, la Amazonia colombiana ha perdido en promedio más de 100.000 hectáreas de bosque por año, con picos críticos de 174.000 ha en 2017 y reducciones recientes a 44.000 ha en 2023 (IDEAM, 2024). En estas dinámicas, la expansión ganadera explica cerca del 65 % de la deforestación, mientras que los cultivos ilícitos, los incendios y la apertura de vías constituyen factores complementarios (Murillo-Sandoval et al., 2023).

Esta tendencia revela que el problema ambiental no se debe exclusivamente a la producción agropecuaria, sino a su modo de ocupación territorial marcado por débil gobernanza, tenencia incierta y falta de ordenamiento que habilita procesos de acaparamiento de tierras y expansión de la frontera agropecuaria (FCDS, 2024; Jones et al., 2024; Sánchez García & Wong, 2024). Además, la creciente presión de la expansión ganadera, la colonización rural y la débil gobernanza ambiental amenazan su sostenibilidad (Armenteras et al., 2019; Clerici et al., 2020).

Sin embargo, la producción agropecuaria ocupa un lugar estratégico dentro de los procesos de desarrollo sostenible de la Amazonia colombiana, al constituirse en un eje articulador entre la conservación de los ecosistemas y la generación de ingresos rurales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Lejos de restringirse a la ganadería extensiva, el sistema productivo amazónico incluye agricultura familiar (yuca, maíz, plátano, arroz y frutales amazónicos), cadenas comerciales como cacao y café, y actividades de piscicultura, apicultura/meliponicultura y avicultura de pequeña escala (SINCHI, 2021; Programa Visión Amazonía, 2015; UPRA, 2024; CORPOAMAZONIA, 2018).

Estas actividades constituyen la base del sustento de más de 500 000 familias rurales amazónicas, aportan cerca del 30 % de la producción agrícola del sur del país y contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria regional (IDEAM & MADS, 2023; FAO, 2022). Sin embargo, cuando se desarrollan sin planificación y sin criterios de sosteni-

bilidad, ejercen una presión considerable sobre los ecosistemas, generando pérdida de bosques, degradación de suelos y conflictos por el uso del territorio (Sánchez García & Wong, 2024).

Analizar las perspectivas del desarrollo sostenible desde este sector permite identificar rutas hacia sistemas más resilientes y compatibles con la conservación (Valbuena et al., 2025; Sandoval et al., 2023). Hablar de desarrollo sostenible va mucho más allá de una meta técnica o económica: es una apuesta ética y política que busca armonizar la productividad con la equidad social y la integridad ambiental (Groves, 2019). En este contexto, la sostenibilidad amazónica no puede comprenderse sólo desde el rendimiento económico o la eficiencia productiva, sino como un equilibrio sistémico entre producción, cultura y conservación (Visión Amazonía, 2023).

Alcanzar dicho equilibrio requiere integrar los conocimientos locales, las dinámicas de mercado y las políticas de ordenamiento en un modelo de desarrollo que articule productividad con bienestar social y estabilidad ecológica (SINCHI, 2023). De esta manera, el presente artículo tiene como propósito interpretar los desafíos del desarrollo sostenible en la Amazonia colombiana y las posibilidades que ofrece la producción agropecuaria como eje estratégico de transición hacia modelos territoriales sostenibles, resilientes y socialmente justos. Esto implica reconocer la doble naturaleza de esta actividad; es a la vez fuente de deterioro ambiental y posibilidad de cambio transformador (Visión Amazonía, 2023).

Así, se plantea la pregunta orientadora:

¿Cómo puede interpretarse la relación entre la producción agropecuaria y los desafíos del desarrollo sostenible en la Amazonia colombiana, para proyectar rutas hacia un modelo territorial sostenible y equitativo? Más que ofrecer respuestas interpretativas, este trabajo busca construir una lectura crítica y reflexiva sobre la producción amazónica como espacio de tensiones, aprendizajes y transformación.

METODOLOGÍA

La búsqueda bibliográfica se desarrolló durante el mes de octubre de 2025, orientada a identificar investigaciones recientes relacionadas con la producción agropecuaria y los desafíos del desarrollo sostenible en la Amazonia colombiana. La presente investigación se aborda desde una revisión narrativa e interpretativa, empleando una metodología de análisis cualitativo para sintetizar y evaluar críticamente la literatura científica reciente y pertinente al desarrollo agropecuario y la sostenibilidad en la Amazonia colombiana. Las consultas se realizaron principalmente en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS), complementadas con literatura regional indexada en SciELO, Redalyc y Dialnet para incorporar aportes latinoamericanos relevantes. La búsqueda se limitó a publicaciones comprendidas entre 2018 y 2025, en idioma inglés y español, con revisión por pares. La revisión se estructuró siguiendo los lineamientos del protocolo PRISMA adaptado para revisiones narrativas, complementado con análisis cualitativo y validación cruzada me-

diante el software Zotero.

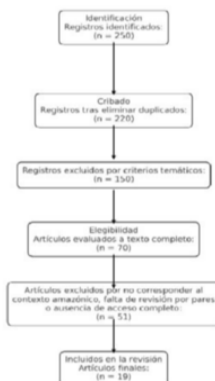
La búsqueda de la ruta general utilizada fue: (“Colombian Amazon” OR “Amazon basin” OR “Amazon region”) AND (“sustainable development” OR sustainability) AND (“agricultural production” OR agriculture OR farming OR “livestock”) AND (“deforestation” OR “land use change” OR “forest conservation”). Las referencias seleccionadas, junto con sus respectivos resúmenes, fueron importadas y organizadas en el software de gestión bibliográfica Zotero, herramienta de libre acceso que permite la clasificación, anotación y citación automatizada de fuentes académicas. En esta fase se depuraron los registros duplicados provenientes de las diferentes bases de datos (Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc y Dialnet), garantizando la coherencia del corpus bibliográfico.

Criterios de inclusión y exclusión

La selección de los estudios se realizó a partir de la rejilla bibliográfica elaborada en Zotero, donde se consolidaron las referencias obtenidas de las bases Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc y Dialnet. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión con el propósito de garantizar la pertinencia, actualidad y validez científica de las fuentes analizadas. Se incluyeron los artículos publicados entre 2018 y 2025, con revisión por pares, DOI verificado y acceso a texto completo, que abordaron de manera directa la producción agropecuaria, los desafíos del desarrollo sostenible o la conservación de los ecosistemas amazónicos desde un enfoque interdisciplinario.

Se excluyeron las publicaciones anteriores a 2018, los documentos sin revisión científica o sin acceso completo y aquellos centrados únicamente en aspectos biológicos o climáticos sin conexión con la dimensión socio productiva. También se descartaron los estudios realizados en ecosistemas no amazónicos o con enfoques teóricos no aplicables al desarrollo territorial sostenible. Como resultado del proceso de depuración, los 250 registros iniciales se redujeron a 19 artículos finales, que constituyeron el corpus principal del análisis narrativo- interpretativo, garantizando la coherencia temática y la calidad metodológica del estudio.

Figura 1
Diagrama de flujo PRISMA



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión bibliográfica desarrollada entre 2018 y 2025 permiten interpretar la Amazonia colombiana como un territorio dinámico, tensionado entre la expansión productiva y la urgencia de sostenibilidad. Las investigaciones analizadas evidencian que los procesos ecológicos, productivos y sociales de la región conforman una trama compleja donde el desarrollo sostenible no puede entenderse como una meta técnica, sino como un proceso de reconstrucción territorial. Desde esta mirada, emergen tres ejes interpretativos que articulan los hallazgos: (i) las transformaciones territoriales y los desafíos ecológicos; (ii) las innovaciones agropecuarias y la sostenibilidad productiva; y (iii) la gobernanza y las estrategias para la sostenibilidad territorial.

Eje 1. Transformaciones territoriales y desafíos ecológicos del desarrollo sostenible en la Amazonia colombiana

Los estudios coinciden en que la Amazonia colombiana atraviesa un proceso acelerado de cambio de uso del suelo, vinculado a la expansión agropecuaria y a los efectos del posconflicto. Murad et al. (2018) muestran que, entre 2000 y 2017, la pérdida de bosque aumentó un 34 %, evidenciando que las zonas de colonización son las más vulnerables. Esta tendencia se acentuó en los años posteriores al acuerdo de paz, cuando el vacío institucional permitió el avance de la frontera agrícola sobre áreas antes inaccesibles (Murillo-Sandoval et al., 2021).

Clerici et al. (2020) documentan un fenómeno paradójico: la deforestación dentro de áreas protegidas aumentó en el periodo post acuerdo, afectando hasta el 60 % de su superficie. La investigación de González-González et al. (2021) refuerza este patrón al mostrar que Caquetá, Meta y Guaviare concentran entre el 55 y el 60 % de la deforestación total registrada, impulsadas por la ganadería extensiva y los cultivos ilícitos. En este contexto, la expansión agropecuaria no planificada se consolida como el principal factor de transformación territorial.

Murillo-Sandoval et al. (2023) evidencian que el 75 % de las 730.000 hectáreas deforestadas entre 2016 y 2022 fueron destinadas a pasturas, configurando una economía de frontera que combina legalidad e informalidad agraria. A su vez, Katz-Asprilla et al. (2024) subrayan que la coexistencia de procesos legales e ilegales de deforestación revela la fragilidad de la gobernanza ambiental. Ruiz-Agudelo et al. (2022) integran estas dinámicas en un diagnóstico regional donde las presiones humanas superan la capacidad de recuperación de los ecosistemas, sugiriendo que la restauración ecológica debe asumirse como prioridad política.

En conjunto, estos estudios reflejan un proceso de reorganización territorial que pone en riesgo la conectividad ecológica y la resiliencia climática de la Amazonia, donde las cifras evidencian un aumento del 34 % en la pérdida de bosque entre 2000 y 2017 (Murad et al., 2018), pero su lectura interpretativa va más allá de lo cuantitativo: muestran una tensión estructural entre modelos de desarrollo basados en la expansión del suelo y la necesidad

de proteger los servicios ecosistémicos que sostienen la vida (González-González et al., 2021; Clerici et al., 2020).

El desafío del desarrollo sostenible en este contexto no es solo detener la deforestación, sino redefinir la forma en que la sociedad habita, produce y cuida el territorio amazónico (Pereira & Viola, 2020). Este eje revela, por tanto, una primera conclusión: sin planificación rural, seguridad jurídica y presencia institucional efectiva, la sostenibilidad seguirá siendo una aspiración más que una realidad (Katz-Asprilla et al., 2024; Murillo-Sandoval et al., 2021).

Eje 2. Innovaciones agropecuarias y sostenibilidad productiva en los sistemas agrícolas y pecuarios amazónicos

El segundo eje interpreta la producción agropecuaria como un espacio de transición hacia modelos sostenibles, donde la innovación técnica y el conocimiento local convergen (Gliessman, 2015). En el ámbito ganadero, Álvarez et al. (2021) evidencian que la presencia de árboles dispersos en potreros incrementa el contenido de carbono y mejora las propiedades físicas del suelo. De forma complementaria, Polanía- Hincapié et al. (2021) demuestran que los sistemas silvopastoriles (SPS) aumentan la infiltración, la porosidad y la estabilidad estructural del suelo, mitigando la erosión y recuperando su funcionalidad ecológica.

Según Rodríguez et al. (2021), los sistemas agroforestales (AFS) mejoran la fertilidad del suelo entre un 20 y 35 %, aumentan la diversidad florística y faunística hasta en un 40 % y reducen la erosión superficial entre un 25 y 30 %, al integrar árboles, cultivos y cobertura permanente. Estos resultados son consistentes con los reportes de la FAO (2022) y Murgueitio et al. (2023), quienes reconocen en los AFS una estrategia esencial para la restauración ecológica de paisajes ganaderos degradados. De igual manera, Díaz-Cháux et al. (2025) evidencian que los paisajes heterogéneos donde coexisten cacao, árboles nativos y pasturas mejoradas almacenan hasta un 60 % más de carbono que las pasturas degradadas, mientras que Suárez et al. (2025) señalan que los sistemas agroforestales cacaoteros incrementan el carbono del suelo en un 32 %, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático.

En la misma línea, Moreno-Pérez et al. (2025) confirman que la transición de pasturas extensivas a SPS incrementa los servicios ecosistémicos del suelo en un 45 %, mientras reduce en 30 % la erosión superficial. Estos resultados evidencian que la sostenibilidad productiva es viable cuando se adopta un enfoque ecosistémico que reconcilia producción y conservación. Sin embargo, Castro-Núñez et al. (2021) advierten que los incentivos mal diseñados pueden generar efectos contraproducentes, promoviendo la expansión de áreas ganaderas bajo la etiqueta de “sostenibles”.

A nivel social, la sostenibilidad también depende de la equidad y la inclusión. Castro-Núñez et al. (2024) demuestran que la participación de mujeres y la subdivisión de potreros no solo mejoran la productividad, sino que promueven la gestión adaptativa de los recursos. Pérez- Marulanda et al. (2025) sostienen que la adopción de prácticas sostenibles requie-

re acompañamiento técnico constante, redes de confianza y articulación entre instituciones y productores. Así, los estudios revisados coinciden en que los sistemas agroforestales y silvopastoriles representan una ruta tangible hacia la sostenibilidad amazónica. No se trata únicamente de innovaciones tecnológicas, sino de transformaciones culturales que resignifican la relación entre el ser humano, la tierra y el bosque (Suárez et al., 2025; Moreno-Pérez et al., 2025; Álvarez et al., 2021).

Eje 3. Gobernanza, políticas y estrategias para la sostenibilidad territorial amazónica

El tercer eje aborda las dimensiones institucionales y políticas del desarrollo sostenible, fundamentales para consolidar los cambios ecológicos y productivos. Jones et al. (2024) señalan que la formalización de la propiedad de la tierra se asocia con una mayor cobertura forestal y estabilidad económica, lo que confirma que la seguridad jurídica es un pilar de la conservación. Por su parte, Valbuena et al. (2025) identifican vacíos en la articulación entre las políticas de conservación y las estrategias de desarrollo rural, evidenciando una desconexión estructural entre lo ambiental y lo productivo.

Katz-Asprilla et al. (2024) destacan que la fragmentación institucional y la falta de coordinación intersectorial limitan la efectividad de las políticas contra la deforestación. Ruiz-Agudelo et al. (2022) complementan que los problemas ambientales no pueden abordarse de forma sectorial, pues su naturaleza multiescalar exige gobernanza colaborativa entre niveles locales, regionales y nacionales. En el ámbito social, Pérez-Marulanda et al. (2025) argumentan que la sostenibilidad requiere fortalecer el tejido comunitario, reconociendo el papel de las redes locales y de las organizaciones de base en la gestión del territorio.

Desde una perspectiva interpretativa, los resultados permiten comprender que la sostenibilidad amazónica no depende solo de la existencia de políticas, sino de la capacidad institucional para implementarlas con participación activa de los actores locales (Bebington et al., 2018). La inclusión de comunidades campesinas, mujeres y jóvenes rurales en la toma de decisiones es un elemento recurrente en los estudios más recientes (Valbuena et al., 2025; Castro- Núñez et al., 2024).

Así, la gobernanza se presenta como un proceso vivo, donde la gestión ambiental se entrelaza con la justicia social y la legitimidad territorial. El reto para la Amazonia colombiana no es sólo técnico, sino político: construir un modelo de desarrollo capaz de armonizar los intereses de la conservación con los derechos y las aspiraciones de quienes habitan el bosque (Jones et al., 2024; Ruiz-Agudelo et al., 2022).

Síntesis interpretativa

Los tres ejes coinciden en una conclusión transversal: la sostenibilidad amazónica no se alcanzará mediante acciones aisladas, sino mediante la articulación de prácticas productivas, políticas coherentes y marcos de gobernanza inclusivos (Nobre et al., 2016). La evidencia revisada sugiere que la producción agropecuaria puede transformarse en un eje estratégico de desarrollo sostenible si se integra al territorio desde una visión de

restauración y equidad (Moreno-Pérez et al., 2025; Valbuena et al., 2025; Álvarez et al., 2021). En este sentido, la Amazonia colombiana se perfila como un laboratorio vivo de transformación: un espacio donde la sostenibilidad no es solo un concepto, sino una práctica cotidiana en construcción.

Tendencias futuras (prospectiva amazónica)

Las tendencias recientes sugieren que la Amazonia colombiana transitará hacia un modelo de desarrollo diversificado, donde la producción de cacao bajo sistemas agroforestales y la acuicultura sostenible se consolidan como alternativas de bajo impacto y alto valor agregado (Doria et al., 2021). Según UPRA (2025), la región podría duplicar su área de producción de cacao sostenible hacia 2030, mientras que la piscicultura familiar tiene potencial para crecer un 40 % con la implementación de prácticas bioseguras (AUNAP, 2025). Además, el ecoturismo comunitario emerge como una oportunidad económica compatible con la restauración de los bosques y la valorización cultural del territorio (Visión Amazonía, 2023).

CONCLUSIONES

La revisión muestra que la Amazonia colombiana atraviesa una etapa decisiva en la relación entre producción agropecuaria y sostenibilidad. La expansión de la frontera productiva, la informalidad en la tenencia de la tierra y la limitada presencia institucional reflejan un manejo territorial que no ha logrado integrarse al ordenamiento ambiental. Superar estas brechas implica fortalecer la gobernanza rural, asegurar la planificación participativa y avanzar hacia un modelo donde el manejo del suelo y los recursos responda a criterios de sostenibilidad.

A la vez, las alternativas productivas basadas en sistemas agroforestales y silvopastoriles demuestran que es posible equilibrar productividad, conservación y bienestar social cuando existen condiciones de apoyo técnico y políticas estables. La sostenibilidad en la región debe comprenderse como un proceso de construcción colectiva, en el que comunidades, instituciones y sectores productivos articulen esfuerzos para que la producción y la conservación se conviertan en componentes complementarios del futuro amazónico.

RECOMENDACIONES

Los resultados de esta revisión muestran que avanzar hacia la sostenibilidad en la Amazonia colombiana requiere articular la producción agropecuaria con la conservación y la equidad social. A partir de ello, se proponen dos recomendaciones centrales:

1. Fortalecer la gobernanza y el ordenamiento territorial rural, integrando información ecológica, social y productiva para orientar el uso del suelo y consolidar modelos que armonicen actividad agropecuaria, conservación y seguridad jurídica. Esto demanda mejorar la presencia institucional, promover mecanismos de decisión participativa y asegurar que la planificación territorial responda a criterios de sostenibilidad.

2. Impulsar la transición hacia prácticas agropecuarias sostenibles, mediante la promoción de sistemas agroforestales y silvopastoriles respaldados por asistencia técnica, incentivos adecuados y programas de extensión rural. La colaboración entre productores, universidades e instituciones públicas es clave para diseñar soluciones ajustadas al contexto amazónico, aumentar la resiliencia productiva y disminuir la presión sobre los ecosistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, F., Casanoves, F., & Suárez, J. C. (2021). Influence of scattered trees in grazing areas on soil properties in the Piedmont region of the Colombian Amazon. *PLoS ONE*, 16(12), e0261612. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261612>
- Armenteras, D., Schneider, L., & Dávalos, L. M. (2018). Fires in protected areas reveal unforeseen costs of Colombian peace. *Nature Ecology & Evolution*, 3(1), 20–23. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0727-8>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP. (2025). Revolución ACUAPÓNICA: AUNAP impulsa proyecto piloto sostenible para las comunidades afrocolombianas en Repelón (Atlántico). *Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca*. <https://aunap.gov.co/aunap-le-cumple-a-las-comunidades-pesqueras-del-pais-con-la-entrega-de-283-embarcaciones-2/>
- Bebbington, A., Bebbington, D. H., Sauls, L. A., Rogan, J., Agrawal, S., Gamboa, C., Imhof, A., & Royo, A. (2018). Resource extraction and infrastructure threaten forest cover and community rights. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(52), 13164–13173. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812505115>
- Castro-Nunez, A., Buriticá, A., Gonzalez, C., Villarino, E., Holmann, F., Perez, L., Del Río, M., Sandoval, D., Eufemia, L., Löhr, K., Durango, S., Romero, M., Lana, M., Sotelo, S., Rivera, O., Loboguerrero, A. M., & Quintero, M. (2021). The risk of unintended deforestation from scaling sustainable livestock production systems. *Conservation Science and Practice*, 3(9), e495. <https://doi.org/10.1111/csp2.495>
- Castro-Nunez, A., Buritica, A., Holmann, F., Ngaiwi, M., Quintero, M., Solarte, A., & Gonzalez, C. (2024). Unlocking sustainable livestock production potential in the Colombian Amazon through paddock division and gender inclusivity. *Scientific Reports*, 14(1), 13644. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63697-2>
- Clerici, N., Armenteras, D., Kareiva, P., Botero, R., Ramírez-Delgado, J. P., Forero-Medina, G., Ochoa, J., Pedraza, C., Schneider, L., & Biggs, D. (2020). Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific Reports*, 10, 4971. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>

- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia – CORPOAMAZONIA. (2018). Lineamientos para proyectos de meliponicultura en la Amazonia surcolombiana. *CORPOAMAZONIA*. <https://www.corpoamazonia.gov.co>
- Díaz-Cháux, J. T., Ordoñez-García, M. A., Cerón, C. T., & Velázquez- Valencia, A. (2025). Influence of landscape structure on carbon storage in cacao-based agroforestry and silvopastoral systems in the Colombian Amazon. *PLOS ONE*, 20(7), e0325477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325477>
- Díaz-Cháux, J. T., Velasquez-Valencia, A., & Casanoves, F. (2025). Influence of landscape structure on carbon storage in agroforestry systems with cacao and silvopastoral systems in the Colombian Amazon. *PLOS One*, 20(6), e0325477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325477>
- Doria, C. R. D. C., et al. (2021). The silent threat of non-native fish in the Amazon: ANNF database and review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 646702. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.646702>
- FAO, FIDA, OPS/OMS, PMA & UNICEF. (2023). Panorama regional de la seguridad alimentaria y nutricional. América Latina y el Caribe 2022: hacia una mejor asequibilidad de las dietas saludables. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.paho.org/es/documentos/panorama-regional-seguridad-alimentaria-nutricional-america-latina-caribe-2022>
- Fundación Gaia Amazonas. (2024). *Amazonía colombiana*. <https://gaiaamazonas.org/amazonia-colombiana/>
- Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS). (2024). Deforestación en el bioma amazónico colombiano [Observatorio Amazonia]. <https://observatorioamazonia.fcds.org.co/acercamiento-conflictos/amazonia-colombiana/deforestacion/microficha-deforestacion-en-el-bioma-amazonico-colombiano.html>
- García, P. a. S., & Wong, G. Y. (2023). The political economy of deforestation in the Colombian Amazon. *Journal of Political Ecology*, 31(1). <https://doi.org/10.2458/jpe.5230>
- Gliessman, S. R. (2015). *Agroecology: The ecology of sustainable food systems* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19921>
- González-González, A., Villegas, J. C., Clerici, N., & Salazar, J. F. (2021). Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia. *Ecological Indicators*, 126, 107695. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107695>
- Groves, C. (2019). Sustainability and the future: Reflections on the ethical and political significance of sustainability. *Sustainability Science*, 14(4), 915–924. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-0800-0>

[org/10.1007/s11625-019-00700-0](https://doi.org/10.1007/s11625-019-00700-0)

- IDEAM. (2024, 31 de julio). *Informe anual del monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación en Colombia 2023*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Informe-anual-del-monitoreo-de-bosque-y-la-deforestacion> Ideas en Acción
- IDEAM. (2024, 8 de julio). *Gobierno Petro logra la mayor reducción de la deforestación en la historia de Colombia (79.256 ha en 2023)*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/noticia/gobierno-petro-logra-la-mayor-reduccion-de-la-deforestacion-en-la-historia-de-colombia> Ideas en Acción
- IDEAM. (2024, 8 de julio). *Histórica reducción de deforestación en la Amazonía: bajó en 38% (44.274 ha en 2023)*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/noticia/historica-reduccion-de-deforestacion-en-la-amazonia-bajo-en-38> Ideas en Acción
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. (2021). Tipificación, caracterización y sostenibilidad de los sistemas productivos en los paisajes de montaña y lomerío (Caquetá). *Instituto SINCHI*. <https://sinchi.org.co>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. (2023). Plan Institucional de Ciencia, Tecnología e Innovación Amazónica (PICIA) 2023–2026. *Instituto SINCHI*. <https://sinchi.org.co/files/DOCUMENTOS%20INSTITUCIONALES/PICIA/PICIA%202023-2026.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2024, 20 de diciembre). *Informe del estado del ambiente y los recursos naturales renovables 2023*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Estado-del-ambiente-y-los-recursos-naturales>
- Jones, K. W., Cabra-Ruiz, N., Correa Sánchez, N., Molina González, E., & Vélez, M. A. (2024). Land tenure security and forest cover in the Colombian Amazon. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7, 1487898. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1487898>
- Katz-Asprilla, D., Piketty, M.-G., Briceño Castillo, G., Blanc, L., Camacho Peña, J., & Karsenty, A. (2024). Subnational assessment of legal and illegal deforestation in the Colombian Amazon: consequences for zero deforestation commitments. *Regional Environmental Change*, 24, 108. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02264-x>
- López, J., et al. (2024). Landscape connectivity loss after the de-escalation of the armed conflict in the Colombian Amazon. *Global Ecology and Conservation*, 50, e03050. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03050>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Programa Visión Amazonía. (2020). *Informe anual 2019–2020*. <https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2020/11/Informe-anual-2019-2020.pdf>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Programa Visión Amazonía. (2015). Resumen Visión Amazonía. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://visionamazonia.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019, mayo 16). *Cinco razones para conservar la Amazonía colombiana*. <https://www.minambiente.gov.co/cinco-razones-para-conservar-la-amazonia-colombiana/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). En 2024, Colombia consolidó la segunda cifra de deforestación más baja en de la historia. <https://www.minambiente.gov.co/en-2024-colombia-consolido-la-segunda-cifra-de-deforestacion-mas-baja-en-de-la-historia/> Ministerio de Ambiente
- Moreno-Pérez, C., Mora-Motta, D., Cárdenas-Guzmán, D., & Silva-Olaya, A. M. (2025). Transitioning from extensive pastures to silvopastoral systems improves multiple soil ecosystem services in the Colombian Amazon. *Science of the Total Environment*, 974, 179185. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179185>
- Murad, C. A., & Pearse, J. (2018). Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and Putumayo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 161-171. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.07.003>
- Murillo-Sandoval, P. J., Kilbride, J., Tellman, E., Wrathall, D., Van Den Hoek, J., & Kennedy, R. E. (2023). The post-conflict expansion of coca farming and illicit cattle ranching in Colombia. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28918-0>
- Murillo-Sandoval, P. J., Van Dexter, K., Van Den Hoek, J., Wrathall, D., & Kennedy, R. (2021). No peace for the forest: Rapid, widespread land changes in the Andes–Amazon region following the Colombian civil war. *Global Environmental Change*, 69, 102283. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102283>
- Nobre, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., & Cardoso, M. (2016). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need for a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39), 10759–10768. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>
- Pereira, J. C., & Viola, E. (2020). Close to a Tipping Point? The Amazon and the Challenge of Sustainable Development under Growing Climate Pressures. *Journal of Latin American Studies*, 52(3), 467–494. <https://doi.org/10.1017/S0022216X20000577>
- Pérez-Marulanda, L., Jepsen, M. R., & Castro-Nunez, A. (2024). Boosting the adoption of sustainable land-use systems for achieving Colombian land-based climate action and peacebuilding goals. *World Development*, 188, 106888. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106888>

- Pérez-Marulanda, L., Jepsen, M. R., & Castro-Nunez, A. (2025). Boosting the adoption of sustainable land-use systems for achieving Colombian land-based climate action and peacebuilding goals. *World Development*, 188, 106888. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106888>
- Polanía-Hincapié, K. L., et al. (2021). Soil physical quality responses to silvopastoral implementation in the Colombian Amazon. *Geoderma*, 386, 114900. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114900>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (s. f.). *Contribución del PNUMA a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. <https://www.unep.org/es/explore-topics/sustainable-development-goals>
- Rodríguez, L., Suárez, J. C., Rodríguez, W., Artunduaga, K. J., & Lavelle, P. (2021). Agroforestry systems impact soil macroaggregation and enhance carbon storage in Colombian deforested Amazonia. *Geoderma*, 384, 114810. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114810>
- Ruiz-Agudelo, C. A., De Paula Gutiérrez-Bonilla, F., Cortes-Gómez, A. M., & Suarez, A. (2022). A first approximation to the Colombian Amazon basin remnant natural capital. Policy and development implications. *Trees Forests and People*, 10, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100334>
- Ruiz-Agudelo, C. A., Marín, A., & Segura-Quintero, C. (2022). A first approximation to the Colombian Amazon basin: Remnant natural capital, policy and development implications. *Environmental and Sustainability Indicators*, 14, 100204. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100204>
- Sachet, E., Mertz, O., Vanegas, M., Cruz-Garcia, G. S., Beltran, M., Angel-Sanchez, Y. K., Zapata, Y. C., Lavelle, P., Solarte, A., Suarez, J. C., Alvarez, F., Romero, M., Rico, A., Sierra, L., & Quintero, M. (2023). Codesigning sustainable land uses: framing participatory methods for research and development projects. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 47(3), 413-440. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2164638>
- Samper, J. A., et al. (2024). "Everyone decided to declare war on the forest": Between extractive frontiers and territorial peace in Colombia. *Ecology and Society*, 29(4), 46. <https://doi.org/10.5751/ES-15190-290446>
- Sandoval, D. F., Florez, J. F., Valencia, K. J. E., Cabrera, M. E. S., & Stefan, B. (2023). Economic-environmental assessment of silvo-pastoral systems in Colombia: An ecosystem service perspective. *Heliyon*, 9(8), e19082. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19082>
- Sandoval, D. F., Martínez-Páez, A., & Pachón-Peñaranda, G. (2023). Economic-environ-

- mental assessment of silvopastoral systems for cattle fattening in Colombia. *Heliyon*, 9(11), e23854. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23854>
- Silva-Olaya, A. M., Gutiérrez-Miceli, F. A., Cruz-Maldonado, A., & Cruz-Crespo, E. (2021). Silvopastoral systems enhance soil health in the Amazon region. *Sustainability*, 13(1), 320. <https://doi.org/10.3390/su13010320>
- Suárez, J. C., Rodríguez, L., & coaut. (2025). Cocoa-based agroforestry systems enhance carbon storage in deep horizons of Amazonian soils. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01317-2>
- Suárez, L. R., Suárez Salazar, J. C., Casanoves, F., & Ngo Bieng, M. A. (2021). Cacao agroforestry systems improve soil fertility: Comparison of soil properties between forest, cacao agroforestry systems, and pasture in the Colombian Amazon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 314, 107349. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107349>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPR. (2024). Alternativas productivas agropecuarias y análisis de oferta y demanda en la región amazónica colombiana. *Unidad de Planificación Rural Agropecuaria*. <https://upra.gov.co>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPR. (2025). Zonificación para el desarrollo de la apicultura en Colombia. *Unidad de Planificación Rural Agropecuaria*. <https://upra.gov.co>
- Valbuena, D., Santander, J., García-Estévez, J., & Franco, N. (2025). Unveiling policy gaps to better address the causes and drivers of tropical deforestation: A case study from the Colombian Amazon. *Land Use Policy*, 158, 107697. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107697>
- Visión Amazonía – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Visión Amazonía: hacia un modelo forestal sostenible. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2023/11/1/VISION-AMAZONIA-REM-I-1.pdf>
- WWF & IDEAM. (2025, febrero–agosto). Cifras de deforestación 2024 en Colombia (≈107.000 ha). *Comunicados y notas técnicas*. <https://www.wwf.org.co/?393650%2F-deforestacion-colombia-2024-informe-cifras-causas/>



PROTOCOLO PRELIMINAR DE BIENESTAR ANIMAL EN PLANTAS DE SACRIFICIO DE AVES ADAPTADO DE WELFARE QUALITY®

Preliminary Animal Welfare Protocol For Poultry Slaughterhouses, Adapted From Welfare Quality®

Protocolo Preliminar De Bem-Estar Animal Em Abateria De Aves, Adaptado Do Welfare Quality®

Johann Fernando Hoyos Patiño¹

 <https://orcid.org/0000-0002-0377-4664>

 jfhoyosp@ufpso.edu.co

César Augusto Zapata Ortíz³

 <https://orcid.org/0000-0001-8618-8021>

 c.zapata@udla.edu.co

Nancy Rodríguez Colorado²

 <https://orcid.org/0000-0002-1087-3150>

 nrodriguezco@ufpso.edu.co

¹Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) M.Sc Sistemas Sostenibles de Producción; Esp Proyectos Pedagógicos Institucionales, Zootecnista, Docente Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña UFPSO

³PhD en Ciencias Naturales y Desarrollo Sustentable, M.Sc en Agroforestería, Esp en Sistemas Sostenibles de Producción Pecuaria, Médico Veterinario Zootecnista. Docente Universidad de la Amazonia - Florencia, Colombia

²PhD en Ciencias Agrarias, Zootecnista. Directora de la División de Investigación y Extensión. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO)

RESUMEN

El presente artículo desarrolla una revisión aplicada orientada al diseño preliminar de un protocolo para evaluar bienestar animal en plantas de sacrificio de aves en Colombia. La propuesta se fundamentó en literatura científica publicada entre 2016 y 2026, referentes internacionales como Welfare Quality® y Welfair™, y normativa colombiana relacionada con bienestar animal. A partir del análisis documental, se estructuró el protocolo en cuatro zonas funcionales: descarga, espera, colgado/aturdido y post-sacrificio. Se proponen indicadores basados en el animal y en recursos/procesos, asociados con ayuno, privación de agua, mortalidad al arribo, estrés térmico, lesiones, aleteo, eficacia del aturdido y hallazgos post-sacrificio. El protocolo constituye una propuesta preliminar que requiere validación en campo mediante estudios piloto, análisis de repetibilidad y ajuste de umbrales bajo condiciones colombianas.

PALABRAS CLAVES:

Plantas De Sacrificio Avícolas; Indicadores De Bienestar; Medidas Basadas En El Animal; Sacrificio Humanitario; Evaluación Ante-Mortem

CÓMO CITAR:

Fecha recepción: 27 de Noviembre de 2025 / Fecha Aprobación: 17 de Febrero 2026 / Fecha Publicación: 1 de Junio 2026

Hoyos Patiño, J. F., Rodríguez Colorado, N. & Zapata Ortíz, C. A. (2026). *Protocolo Preliminar De Bienestar Animal En Plantas De Sacrificio De Aves Adaptado De Welfare Quality®*. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC, 18(1), 133-157. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v18n1a8>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

ABSTRACT

This article presents an applied review aimed at the preliminary design of a protocol to assess animal welfare in poultry slaughterhouses in Colombia. The proposal is based on scientific literature published between 2016 and 2026, international standards such as Welfare Quality® and Welfair™, and Colombian regulations related to animal welfare. Based on the literature review, the protocol was structured into four functional zones: unloading, holding, hanging/stunning, and post-slaughter. Animal-based and resource/process-based indicators are proposed, associated with fasting, water deprivation, mortality on arrival, heat stress, injuries, flapping, stunning efficacy, and post-slaughter findings. The protocol constitutes a preliminary proposal that requires field validation through pilot studies, repeatability analyses, and threshold adjustments under Colombian conditions.

RESUMO

O presente artigo apresenta uma revisão aplicada voltada para a elaboração preliminar de um protocolo para avaliar o bem-estar animal em abatedouros de aves na Colômbia. A proposta baseou-se na literatura científica publicada entre 2016 e 2026, em referências internacionais como Welfare Quality® e Welfair™, e na legislação colombiana relacionada ao bem-estar animal. A partir da análise documental, o protocolo foi estruturado em quatro zonas funcionais: descarga, espera, suspensão/atordoamento e pós-abate. São propostos indicadores baseados no animal e em recursos/processos, associados a jejum, privação de água, mortalidade na chegada, estresse térmico, lesões, batimento de asas, eficácia do atordoamento e achados pós-abate. O protocolo constitui uma proposta preliminar que requer validação em campo por meio de estudos-piloto, análises de repetibilidade e ajuste de limites sob condições colombianas.

KEYWORDS

Poultry Slaughterhouses;
Welfare Indicators;
Animal-Based Measures;
Humane Slaughter; Ante-
Mortem Assessment

PALAVRAS CHAVE

Abatedouros Avícolas;
Indicadores De Bem-
Estar; Medidas Baseadas
No Animal; Abate
Humanitário; Avaliação
Ante-Mortem

INTRODUCCIÓN

La producción avícola representa un pilar importante de la seguridad alimentaria en Colombia y el mundo (Birhanu et al., 2023). En 2021 se produjeron aproximadamente 140 millones de toneladas de carne de ave a nivel global, y para 2030 se proyecta que el pollo constituya más del 40% de la carne consumida mundialmente (Fuseini, Miele & Lever, 2023). Colombia no es ajena a esta tendencia: en 2020 el país produjo cerca de 1,62 millones de toneladas de carne de pollo en 126 plantas de beneficio autorizadas, consolidándose la avicultura como sector pecuario estratégico (MADR, 2021). Este crecimiento intensivo ha venido acompañado de una mayor preocupación pública, científica y normativa por el *bienestar animal* durante el ciclo de producción, incluyendo las etapas de transporte y sacrificio de las aves (Fuseini, Miele & Lever, 2023).

Pese a los avances en normativas de bienestar para otras especies, Colombia carece de un marco técnico-estandarizado que regule el bienestar animal específicamente en plantas de beneficio de aves. Este vacío ha llevado a una heterogeneidad en las prácticas, generando riesgos tanto para el bienestar de las aves como para la calidad del producto final. En este sentido, el PCBA-AVES emerge como una herramienta de articulación normativa, científica y operativa, alineada con los principios de la Ley 1774 de 2016 y con los estándares internacionales definidos por la OMSA (2024) y el Reglamento (CE) No 1099/2009 del Parlamento Europeo.

El bienestar animal se define, según la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), como el estado en el cual los animales se encuentran sanos, bien alimentados, seguros, libres de dolor, miedo y angustia, y pueden expresar su comportamiento natural (Villamañe, Trevisi & Yuño, 2021: OMSA, 2016). En Colombia, dicho concepto cobró relevancia legal con la Ley 1774 de 2016, que reconoció a los animales como seres sintientes y estableció cinco condiciones mínimas de bienestar: ausencia de hambre y sed, ausencia de malestar físico o dolor, prevención de enfermedades, ausencia de miedo o estrés, y posibilidad de manifestar el comportamiento natural (Hoyos-Patiño, Hernández-Villamizar & Velásquez-Carrascal, 2021; Congreso de la República de Colombia, 2016). Estas garantías, inspiradas en las “Cinco Libertades”, obligan a todos los actores de la cadena pecuaria a asegurar un trato humanitario hacia los animales bajo su cuidado.

En el contexto específico de las plantas de sacrificio avícolas, existen numerosos factores que pueden comprometer el bienestar de los pollos de engorde en la fase final de su vida (Mohan et al., 2025). Diversos estudios han documentado problemas recurrentes como: mortalidad de aves durante el transporte (*dead on arrival*, DOA o muertos a la llegada), traumas y fracturas por manejo brusco, estrés térmico en la espera previo al sacrificio, inadecuada sujeción e inversión de las aves para el aturcido, parámetros ineficaces de aturcido (corriente eléctrica o atmósferas controladas aversivas), y fallas en el desangrado que provocan prolongación de la conciencia (Fuseini, Miele & Lever, 2023; Beño et al., 2021; Caffrey et al., 2017). Por ejemplo, un amplio estudio en Italia reportó una incidencia promedio de 0,47% de aves DOA en broilers (equivalente a casi 6 millones de individuos sobre 1.266 millones de pollos evaluados), lo cual evidencia la magnitud del problema (Junghans et al., 2022; Grilli, 2018).

Factores como largas distancias de transporte, altas temperaturas ambientales y deficiencias en ventilación contribuyen significativamente a estas muertes y al sufrimiento de las aves en tránsito (Allen et al., 2023; Pirompuud et al., 2023). Asimismo, el manejo inadecuado durante la descarga y el colgado en la línea de sacrificio, puede generar fracturas óseas, contusiones y aleteos violentos que reflejan dolor y pánico en las aves, comprometiendo además la calidad del producto final (hematomas, alas rotas, carne PSE o DFD) (Unterholzner et al., 2025; Wigham et al., 2019).

A nivel internacional, el proyecto (WQ) es un referente en el desarrollo de protocolos integrales de evaluación del bienestar en granja y planta de sacrificio (de Jong et al., 2025; Averós et al., 2022). WQ estableció cuatro principios fundamentales (buena alimentación, buen alojamiento, buena salud y comportamiento apropiado) desglosados en 12 criterios operativos que abarcan desde la ausencia de hambre y sed prolongadas hasta el estado emocional positivo del animal. Estos protocolos enfatizan el uso de medidas basadas en el animal (indicadores directos del estado o comportamiento de los animales) para una apreciación más objetiva del bienestar, complementándolas con indicadores de recursos o manejo cuando es necesario (Hoyos-Patiño, Quintero-Meza & Velásquez-Carrascal, 2020).

En Europa, España ha adaptado dichos protocolos en el esquema de certificación Welfair™, extendiendo evaluaciones a las etapas de planta de sacrificio para especies como bovinos, porcinos y aves de corral (Contreras-Jodar et al., 2022; IRTA, 2019). El protocolo español, sigue los lineamientos de WQ pero integrando la realidad operativa local: considera 10 de los 12 criterios de bienestar (excluyendo aquellos no aplicables en el planta de sacrificio, como comportamientos sociales) y define zonas específicas de evaluación dentro de la planta (descarga, espera, aturcido/decapitación, y procesamiento de canales), con umbrales cuantitativos para cada indicador (Sistema de integración de medidas para el protocolo de valoración del bienestar animal del pollo de engorde en planta de sacrificio, 2023). Estas experiencias sirven de base para orientar un protocolo colombiano, dado que comparten la especie objetivo pero requieren ajustes a factores climáticos, productivos y legales propios del país.

Si bien la Unión Europea cuenta desde 2009 con el Reglamento CE 1099/2009 que establece estándares para la protección de los animales en el momento de la sacrificio (la obligatoriedad de aturcido previo al corte, parámetros mínimos de corriente, y la presencia de un Oficial de Bienestar Animal en cada planta), en la práctica global aún se observan incumplimientos en plantas de sacrificio industriales que resultan en sufrimiento innecesario (Fuseini, Miele & Lever, 2023).

En Colombia, la normativa también ha avanzado: la Resolución 0253 de 2020 del Ministerio de Agricultura adoptó manuales de condiciones de bienestar para especies pecuarias, y recientemente el Decreto 810 de 2025 creó el Sistema Nacional de Protección y Bienestar Animal (Sinapyba) para articular políticas públicas en la materia (Decreto 810 de 2025; MADR, 2020). No obstante, persiste la necesidad de instrumentos técnicos estandarizados que permitan evaluar y asegurar el bienestar de las aves en las plantas de beneficio aviar, adaptados a las condiciones operativas y normativas del país.

Como propuesta metodológica aplicada, el protocolo responde a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo adaptar los principios del modelo Welfare Quality® al contexto operativo, normativo y climático colombiano para evaluar el bienestar animal en plantas de sacrificio de aves? Esta pregunta guía la estructura del documento y fundamenta la construcción de indicadores contextualmente pertinentes, validados con literatura científica y normativa nacional.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es diseñar una propuesta preliminar de protocolo para la evaluación del bienestar animal en plantas de sacrificio de aves en Colombia (PCBA-AVES), mediante una revisión aplicada de literatura científica, referentes internacionales y normativa nacional, adaptando los criterios del modelo WQ a las condiciones de Colombia.

METODOLOGÍA

Se desarrolló una revisión aplicada orientada al diseño preliminar de un protocolo, considerando literatura científica publicada entre 2016 y 2026 en bases de datos indexadas (Scopus, Web of Science, SciELO y PubMed) utilizando combinaciones de términos en español e inglés (“bienestar animal en pollos de engorde”, broiler welfare, animal-based indicators, slaughter plant, transport stress) (Barrientos-Monsalve, Sotelo-Barrios & Hoyos-Patiño, 2023). Se aplicaron filtros por tipo de documento (investigaciones experimentales, revisiones sistemáticas, informes técnicos y normativos) (Barrientos Monsalve, Velásquez-Carrascal & Hoyos-Patiño, 2021). Se recuperaron inicialmente 84 registros, de los cuales 61 cumplieron los criterios de inclusión, priorizando literatura con enfoque en indicadores basados en el animal (animal-based measures) (Tabla 1 y 2). Esta selección se fundamenta en la tendencia actual de evaluación de bienestar mediante resultados observables más que mediante recursos ofrecidos (de Jong et al., 2025; Saraiva et al., 2020).

Tabla 1.
Criterios de inclusión sugeridos

Criterio	Descripción
Periodo de publicación	Documentos publicados entre 2016 y 2026, con excepción de normas, protocolos base o documentos metodológicos necesarios.
Tema central	Bienestar animal en pollos de engorde, transporte, manejo pre-sacrificio, recepción, espera, aturcido, sacrificio, inspección post-sacrificio o calidad de canal asociada al bienestar.
Tipo de documento	Artículos científicos, revisiones, protocolos internacionales, documentos técnicos, normativa colombiana e internacional aplicable.
Pertinencia metodológica	Fuentes que aportaran indicadores, criterios, umbrales, métodos de medición o elementos normativos para estructurar el protocolo.
Idioma	Español, inglés y portugués, según disponibilidad y pertinencia temática.

Para la construcción del PCBA-AVES se desarrolló una revisión aplicada de literatura científica, documentos técnicos, protocolos internacionales y normativa relacionada con bienestar animal en plantas de sacrificio de aves. Estas fuentes sirvieron para fundamentar la selección de criterios, indicadores, umbrales preliminares y zonas funcionales del

protocolo (Tabla 3).

Tabla 2.
Criterios de exclusión sugeridos

Criterio	Descripción
Baja pertinencia temática	Documentos sobre bienestar animal no relacionados con aves, transporte, sacrificio, plantas de beneficio o indicadores aplicables.
Falta de trazabilidad	Referencias sin datos suficientes para identificación, sin DOI, URL verificable o fuente institucional clara.
Duplicidad	Registros repetidos entre bases de datos o documentos citados en versión general y versión completa.
Enfoque no aplicable	Estudios centrados en especies distintas, fases productivas sin relación con planta de sacrificio o bienestar general sin indicadores transferibles.
Documento secundario débil	Fuentes divulgativas sin soporte técnico, salvo cuando aportaran contexto normativo o institucional verificable.

Tabla 3.
Trazabilidad de la revisión aplicada

Fuente consultada	Ecuación usada	Filtros aplicados	Registros recuperados	Registros incluidos después de depuración
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("broiler welfare" OR "poultry welfare") AND TITLE-ABS-KEY ("slaughterhouse" OR "slaughter plant" OR "pre-slaughter" OR "transport stress" OR "animal-based indicators")	2016–2026; artículos científicos, revisiones y documentos relacionados con bienestar animal, transporte, manejo pre-sacrificio, aturrido, sacrificio e indicadores en pollos de engorde	No discriminado por base en la bitácora disponible	Incluidos dentro del total depurado
Web of Science	TS=("broiler welfare" OR "poultry welfare") AND TS=("slaughterhouse" OR "slaughter plant" OR "pre-slaughter" OR "transport stress" OR "animal-based indicators")	2016–2026; artículos científicos, revisiones y literatura indexada sobre bienestar animal en aves durante transporte, espera, aturrido y sacrificio	No discriminado por base en la bitácora disponible	Incluidos dentro del total depurado
PubMed	("broiler welfare" OR "poultry welfare") AND ("slaughterhouse" OR "slaughter plant" OR "pre-slaughter" OR "transport stress" OR "animal-based indicators")	2016–2026; artículos con enfoque en bienestar, estrés, mortalidad al arribo, lesiones, aturrido y calidad de carne	No discriminado por base en la bitácora disponible	Incluidos dentro del total depurado
SciELO	("bienestar animal" AND aves AND sacrificio) OR ("pollos de engorde" AND bienestar AND transporte) OR ("planta de beneficio" AND aves AND bienestar)	2016–2026; artículos en español y portugués relacionados con bienestar animal, plantas de beneficio, transporte y sacrificio de aves	No discriminado por base en la bitácora disponible	Incluidos dentro del total depurado
Literatura técnica, normativa y protocolos internacionales	Búsqueda dirigida por documento: Welfare Quality®, Welfare™, OMSA, normativa colombiana, Reglamento CE 1099/2009 y documentos técnicos institucionales	Documentos técnicos, normativos y protocolos aplicables al diseño de indicadores y adaptación del modelo al contexto colombiano	Incluidos en el total general	Incluidos cuando aportaron criterios, indicadores, umbrales o sustento normativo

Total general reportado	—	2016–2026, con inclusión excepcional de documentos normativos o metodológicos anteriores cuando fueron necesarios para fundamentar el protocolo	84 registros recuperados	61 referencias únicas incluidas
-------------------------	---	---	--------------------------	---------------------------------

Nota. La distribución de registros por base de datos no se discriminó en la bitácora inicial de búsqueda; por ello, se reporta el total global de registros recuperados y referencias incluidas. Esta decisión evita asignaciones retrospectivas no verificables.

Análisis de protocolos internacionales: Se estudiaron en detalle los protocolos WQ aplicables a pollos de engorde en granja y planta de sacrificio, así como guías de auditoría europeas (Welfare Quality Network, 2019). En particular, se examinó el protocolo español Welfair™ para plantas de sacrificio de pollos (IRTA/NEIKER, 2019–2023) y publicaciones derivadas del mismo (Papageorgiou et al., 2025). Este protocolo ibérico divide la evaluación por zonas de la planta e introduce ciertos indicadores adicionales (formación del personal, registros de bienestar) para complementar los criterios de Welfare Quality. Se compararon también normativas como el Reglamento (CE) 1099/2009 de la UE y lineamientos de la OIE (Capítulo 7.5 del Código Terrestre) para asegurar la alineación del PCBA-AVES con estándares reconocidos (OMSA, 2024).

La información de España fue especialmente útil para entender la operacionalización práctica de WQ en un contexto de planta de sacrificio: por ejemplo, define cuatro zonas críticas (1. descarga, 2. espera, 3. colgado/aturdido, 4. pos-sangrado) en las cuales se agrupan las observaciones. Asimismo, estipula umbrales cuantitativos exigentes, como un máximo aceptable de 0,5% de aves muertas a la llegada al planta de sacrificio, o un tiempo total de ayuno no superior a 10 horas antes de la descarga para obtener la puntuación óptima (en contraste con las aproximadamente 12 horas toleradas tradicionalmente) (Villamañe, Trevisi & Yuño, 2021). Tales referencias sirvieron para calibrar las metas del protocolo colombiano. Adicionalmente, se revisaron manuales técnicos nacionales: el Manual de Bienestar Animal del ICA (Resol. 0253/2020), que contiene lineamientos generales para aves de corral, y tesis locales sobre bienestar en plantas de beneficio avícola. Esto permitió identificar brechas y particularidades locales (condiciones climáticas tropicales, variabilidad en la escala de las plantas, prácticas de transporte rural) que debían considerarse en la adaptación.

Adaptación normativa y operativa al contexto colombiano: Con la información recopilada, se procedió a estructurar el PCBA-AVES ajustándolo a la realidad nacional. Se definieron los principios y criterios a evaluar, manteniendo la filosofía WQ pero asegurando compatibilidad con la legislación colombiana. En cuanto a *principios*, se adoptaron los cuatro de WQ (Alimentación, Alojamiento, Salud, Comportamiento adecuado). Respecto a *criterios*, se incluyeron 10 de los 12 originales, excluyendo aquellos que no aplican en planta de sacrificio (interacciones sociales y relación hombre-animal en condiciones de rutina, dado que en planta de sacrificio el contacto es breve y específico) Tabla 4.

Cada criterio se vinculó con uno o más indicadores medibles. Se optó por una organización por *zonas de la planta* (similar al modelo español) para facilitar la evaluación in situ por parte de los médicos veterinarios o auditores de bienestar. Así, se establecieron las siguientes zonas y criterios principales asociados:

- Zona de descarga (recepción de las aves): criterios de *Ausencia de sed prolongada* y *Ausencia de hambre prolongada*, ya que en este punto culmina el transporte y periodo de ayuno.
- Zona de espera o descanso: criterios de *Confort térmico* y *Facilidad de movimiento*, evaluando condiciones ambientales y espaciales mientras las aves aguardan el sacrificio.
- Zona de colgado y aturdido: criterios de *Ausencia de lesiones* y *Ausencia de dolor por procedimientos*, observando signos de heridas o sufrimiento durante la manipulación, aturdido y sangrado.
- Zona de canales (post-sacrificio e inspección): criterios de *Ausencia de enfermedad* (reflejada en decomisos y condiciones sanitarias) y *Estado emocional positivo*, inferido indirectamente a través de indicadores previos como el nivel de calma o aleteo antes de la insensibilización.

Tabla 4.
comparativa de criterios e indicadores: WQ vs. PCBA-AVES

Principio WQ	Criterios WQ Originales	Criterios PCBA-AVES Adaptados	Indicadores Relevantes en PCBA-AVES
Buena alimentación	1. Ausencia de hambre prolongada 2. Ausencia de sed prolongada	Mismos criterios adoptados	Tiempo de ayuno Buche vacío Tiempo sin acceso a agua
Buen alojamiento	3. Confort térmico 4. Confort en el descanso 5. Facilidad de movimiento	Mismos criterios adoptados	Temperatura ambiente Signos de jadeo Densidad por jaula
Buena salud	6. Ausencia de lesiones 7. Ausencia de enfermedad 8. Ausencia de dolor inducido por manejo	Mismos criterios adoptados	% de fracturas Hematomas en canal Aves conscientes post-aturdido
Comportamiento apropiado	9. Expresión de conductas sociales 10. Expresión de otras conductas normales 11. Interacción humano-animal 12. Estado emocional positivo	Se excluyen criterios 9 y 11 por no ser aplicables en planta de sacrificio Se conserva 10 y 12	Vocalizaciones Calma antes del aturdido Observación de estrés (aletazos, jadeo)

Es importante aclarar que la validación práctica del protocolo (pruebas piloto en plantas y análisis estadístico de repetibilidad) queda fuera del alcance de este trabajo. Sin embargo, se recopiló evidencia de la aplicabilidad de los indicadores propuestos en otros contextos. Por ejemplo, se consultaron estudios que correlacionan datos de planta de sacrificio con el historial de las granjas de origen, demostrando que indicadores como dermatitis plantar, contusiones o condenas pueden servir para auditar retrospectivamente el manejo en granja, lo cual fue tenido en cuenta como valor añadido del PCBA-AVES (Saraiva et al., 2024).

Con todos estos insumos, se elaboró el protocolo preliminar detallando para cada criterio: el indicador a medir, el método de medición, el tipo de medida (basada en el animal o en recurso) y, cuando aplicable, un umbral de referencia o clasificación (valor óptimo, aceptable, alerta). Se procuró que los umbrales propuestos fueran realistas pero exigentes, apoyados en la bibliografía.

Finalmente, el borrador del protocolo fue revisado a la luz de las normativas colombianas vigentes para asegurar que no hubiese contradicciones y que complementara las

exigencias legales (en Colombia ya es obligatorio el aturrido previo al sacrificio excepto para ritos religiosos, y existen requisitos de capacitación del personal en bienestar animal, Resolución 136 de 202, elementos incorporados en nuestro diseño).

Este estudio se basa únicamente en revisión documental, sin involucrar experimentación directa con animales ni intervención sobre individuos vivos. Por consiguiente, no fue necesario el aval por parte de un comité de ética, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la Ley 1774 de 2016 y los principios éticos de investigación documental.

RESULTADOS

Estructura general del PCBA-AVES: El protocolo colombiano propuesto se organizó en torno a los cuatro principios de WQ (Alimentación, Alojamiento, Salud, Comportamiento) y sus criterios correspondientes adaptados a la planta de sacrificio. La evaluación se realizó en cuatro zonas clave de la operación: (1) Zona de descarga (llegada de las jaulas y desembarque de las aves), (2) Zona de espera (estacionamiento o hangar de reposo donde permanecen las aves en sus módulos antes del proceso), (3) Zona de colgado y aturrido (incluye el traslado desde los módulos a la línea de sacrificio, el colgado en grilletes, el aturrido y el corte de cuello), y (4) Zona de post-sacrificio o canales (abarca desde el sangrado hasta la inspección sanitaria de las carcasas, donde pueden evaluarse lesiones y condenas).

Esta sectorización permitió agrupar los indicadores según la etapa donde son más pertinentes, simplificando la auditoría en instalaciones de diverso tamaño. En cada zona se evalúan indicadores de bienestar animal específicos, combinando medidas *basadas en las propias aves* (porcentaje de animales con determinada condición) con medidas *basadas en recursos/procesos* (tiempos, densidades, equipamiento).

La Tabla 5 resume los principales indicadores definidos, indicando la zona de la planta, criterio de bienestar asociado, tipo de medida y umbral o referencia sugerido para interpretar el resultado. Cabe resaltar que muchos de estos umbrales se fundamentan en estudios recientes y en referencias internacionales para garantizar su solidez científica.

Notas: Los umbrales “óptimos” se basan en la literatura y en referentes de certificación de bienestar (WQ, Welfare™). Se consideran valores por encima de estos umbrales como puntos críticos que requieren acciones correctivas. Por ejemplo, una mortalidad al arribo superior a 0,5% o un porcentaje alto de dermatitis plantar (no incluido en tabla) desencadenarían auditorías específicas en las granjas proveedoras (Saraiva et al.,2024). Algunos indicadores combinan observación directa con verificación documental (tiempos de ayuno según registros de granja y transporte). Esto requiere coordinación entre planta e integración de datos de la cadena de suministro.

Como se aprecia, el PCBA-AVES incluye tanto medidas basadas en el animal (porcentaje de aves jadeando, aves con lesiones y comportamiento de aleteo,) como medidas basadas en recursos/procesos (tiempos de ayuno, densidades, presencia de equipamientos adecuados). Este enfoque mixto garantiza una evaluación integral: las medidas de recurso ayudan a verificar el cumplimiento de buenas prácticas, mientras que las medidas directas

sobre las aves reflejan el estado real de bienestar (de Jong et al.,2025).

Tabla 5.
Indicadores propuestos en el Protocolo (PCBA-AVES),

Zona de planta	Criterio WQ (Principio)	Indicador específico (ecuación de indicador específico)	Tipo de medida	Umbral sugerido
Descarga (recepción)	<i>Ausencia de sed prolongada</i> (Buena Alimentación)	Tiempo de privación de agua desde última provisión hasta llegada a planta (incluye transporte)	Recurso/ proceso (registro)	≤ 1 hora antes de la carga en granja. Agua disponible hasta el momento de embarque.
Descarga (recepción)	<i>Ausencia de hambre prolongada</i> (Buena Alimentación)	Tiempo total de ayuno desde retiro de alimento en granja hasta llegada a planta	Recurso/ proceso (registro)	≤ 10–12 horas en total. (<i>Ideal</i> ≤ 10 h según estándares internacionales; <i>máximo tolerable</i> 12 h).
Descarga (recepción)	<i>Ausencia de lesiones</i> (Buena Salud)	(Lesiones o mortalidad durante transporte) – (<i>Aves muertas a la llegada</i> (DoA) a planta, heridas visibles).	Resultado (animal)	DoA ≤ 0,5% del lote. Sin traumas severos evidentes en >98% aves (≤ 2% con fracturas/ alas rotas).
Espera (zona de descanso)	<i>Confort térmico</i> (Buen Alojamiento)	(Temperatura y ventilación adecuadas) – (Índice de estrés calórico en las aves (% de aves jadeando))	Resultado (animal) + recurso	Jadeo < 15% de las aves observadas. Tª ambiente óptima 18–21°C en área de espera; ventilación forzada y nebulización funcionando si Tª > 25°C.
Espera (zona de descanso)	<i>Facilidad de movimiento</i> (Buen Alojamiento)	(Densidad de carga en jaulas/ módulos) – (Nº de aves por cajón o cm² por ave en los módulos de transporte).	Recurso (diseño)	≤ 50 kg/m² en jaulas (equivalente aprox. a 200 cm²/kg). Ejemplos: 10–12 pollos/jaula estándar según peso (1,5–2 kg/ave); reducir a 8–10 en clima cálido (≥30°C).
Espera (zona de descanso)	<i>Ausencia de malestar físico (comodidad al descansar)</i> (Buen Alojamiento)	(Estado de las aves en espera) – (Presencia de aves caídas o aplastadas, comportamiento de descanso)	Resultado (animal)	0% de aves atropelladas o atrapadas en jaulas. Si espera >3 h, jaulas inmovilizadas en zona techada, con espacio suficiente para que las aves se agachen sin hacinamiento. (<i>Nota: Se busca que el tiempo de espera típico esté entre 0,5 y 3 h.</i>)
Colgado y aturcido	<i>Buena relación humano-animal</i> (Comportamiento apropiado)	(Manejo y sujeción correctos) – (Observación de prácticas de colgado (tomar ambas patas, evitar golpes) y actitud del personal)	Recurso/ proceso (práctica)	100% del personal capacitado en bienestar animal; supervisión continua. 0 incidencias de maltrato intencional (golpes, lanzamientos).
Colgado y aturcido	<i>Ausencia de dolor inducido por manejo</i> (Buena Salud)	(Aleteo en la línea de sacrificio) – (Proporción de aves que aletean vigorosamente tras el colgado (indicador de estrés/alarma))	Resultado (animal)	< 25% de aves con aleteo intenso durante >5 seg. Uso de luz azul tenue en área de colgado para mantener calma (long. onda ~340–380 nm).
Aturcido (agua electr.)	<i>Ausencia de dolor inducido por manejo</i> (Buena Salud)	(Incidencia de pre-choque eléctrico) – (Aves que reciben descargas antes del aturcido (contacto con el baño eléctrico con otras partes del cuerpo))	Resultado (animal)	≤ 5% de aves con indicios de pre-choque (aletazos bruscos al entrar al agua). Corregir nivel de agua si >5%. Objetivo = 0.
Aturcido (general)	<i>Ausencia de dolor inducido / Estado emocional</i> (Buena Salud / Comportamiento)	(Eficacia del aturcido) – (Porcentaje de aves correctamente insensibilizadas al primer intento).	Resultado (animal)	≥ 99% de eficacia en aturcido (eléctrico o atmósfera controlada). 0% de aves vocalizando o con reflejos tras el aturcido y antes del corte. Cualquier ave consciente debe ser re-aturcida de inmediato (dispositivo de respaldo disponible).
Post-sacrificio (canales)	<i>Ausencia de lesiones/enfermedad</i> (Buena Salud)	(Lesiones en carcasas) – (Prevalencia de contusiones, fracturas antiguas, arañazos o otras lesiones detectadas en inspección post-mortem ⁹).	Resultado (animal)	< 5% de carcasas con lesiones que impliquen decomiso parcial (contusiones leves). 0% con fracturas óseas antiguas (indicativo de mala manipulación en granja o captura). Datos de lesiones se documentan para retroalimentación a granjas.
Post-sacrificio (canales)	<i>Ausencia de enfermedad</i> (Buena Salud)	(Tasa de condena sanitaria) – (Porcentaje de aves cuyo cuerpo completo es decomisado por causas sanitarias (caquexia, ascitis, infecciones))	Resultado (animal)	≤ 4% de condena total de canales por lote. (Umbral de alerta si >4%: investigar causas en granja y manejo).
Post-sacrificio (canales)	<i>Estado emocional positivo</i> (Comportamiento apropiado)	(Indicadores indirectos de bajo estrés) – (pH muscular adecuado, ausencia de <i>petequias</i> por estrés agónico, calidad de carne normal (no PSE/DFD))	Resultado (animal/ calidad)	pH final 5,7–6,0 en pechuga (indicador de estrés controlado). Carne PSE < 2% piezas; Hemorragias en alas/patas < 5% canales.

Un tiempo de espera prolongado podría no parecer problemático si las aves permanecen

tranquilas, pero el indicador de jadeo o amontonamiento mostrará si ese tiempo está induciendo estrés térmico o frío (Villamañe, Trevisi & Yuño, 2021). Del mismo modo, la capacitación del personal se considera esencial para minimizar las respuestas de miedo en las aves durante el manejo; por ello, el protocolo prevé verificar la existencia de un Programa de Bienestar Animal en la planta y la designación de un encargado de bienestar (requisito ya presente en normativas como el Decreto 1500 y estándares internacionales) (Wigham et al.,2019; Jacobs et al.,2017b).

Principios y criterios cubiertos: El PCBA-AVES cubre los cuatro principios de bienestar de forma balanceada. Bajo *Buena Alimentación*, aborda la prevención de hambre y sed prolongadas asegurando límites al ayuno pre-sacrificio y al tiempo sin agua (Villamañe, Trevisi & Yuño, 2021). En *Buen Alojamiento*, se enfatiza el confort térmico (control ambiental en la espera, algo crítico en climas cálidos y fríos) y la comodidad postural/espacio (evitar hacinamiento en jaulas, tiempos de espera razonables) (Cockram et al.,2018). En *Buena Salud*, se cubren la ausencia de lesiones (reduciendo traumas, monitoreando heridas y contusiones) y la ausencia de enfermedades (vía inspección sanitaria y tasas de rechazo) (Saraiva et al.,2024; Törmä et al.,2022).

Finalmente, en *Comportamiento Apropiado*, dado que en el planta de sacrificio las oportunidades de conducta natural son muy limitadas, el enfoque recae en minimizar el miedo y la angustia: indicadores como el aleteo, vocalizaciones y reacciones durante el aturdimiento sirven como proxy del estado emocional negativo o positivo (Smaldone et al.,2021; Wigham et al.,2019). Un *estado emocional positivo* se asume cuando las aves permanecen relativamente calmadas, sin aleteos ni vocalizaciones extremas, lo cual se facilita, según estudios mediante medidas como iluminación azul tenue en la zona de colgado y un manejo gentil (Delanglez et al.,2025). Aunque es difícil medir directamente emociones positivas en este entorno, el protocolo planteado pretende al menos evitar las emociones negativas intensas (pánico, dolor) cumpliendo con un sacrificio humanitario. El PCBA-AVES ofrece una matriz de evaluación que vincula cada criterio de bienestar con uno o más indicadores prácticos en la planta de beneficio. La implementación de este protocolo requerirá recolectar datos *in situ* por parte de profesionales capacitados (médicos veterinarios, zootecnistas oficiales u oficiales de bienestar de la planta), utilizando listas de chequeo y herramientas de medición (cronómetros, termómetros, registros digitales, observación clínica).

Los resultados de la evaluación podrán expresarse cualitativamente (cumple/no cumple umbral) o cuantitativamente (puntajes), de forma similar a WQ. Se propone que cada criterio obtenga una calificación basada en sus indicadores, y que a su vez se consoliden puntuaciones por principio y una calificación global de bienestar para el lote o planta evaluada. Esta calificación podría ser útil para auditorías de autoridades sanitarias (verificando cumplimiento de mínimos legales) o para esquemas voluntarios de certificación de alto bienestar (diferenciando productores con mejores prácticas). En la siguiente sección se discuten las implicaciones y beneficios esperados de este protocolo, así como los retos para su aplicación.

DISCUSIÓN

Fortalezas del PCBA-AVES: El protocolo colombiano propuesto constituye un avance significativo al adaptar un marco científico internacional sólido (WQ) a la realidad local. Una de sus mayores fortalezas es el énfasis en indicadores basados en el animal, lo cual responde a la recomendación de expertos de medir el bienestar “a través de los ojos del animal” más que mediante listas de verificación exclusivamente de insumos (de Jong et al.,2025; Louton et al.,2022). Esto implica que el PCBA-AVES evaluará directamente el estado de las aves (su comportamiento, condición física y reacciones) como reflejo fidedigno de su bienestar.

Indicadores como la incidencia de aleteo vigoroso o el porcentaje de aves con lesiones en la canal proporcionan evidencia directa de sufrimiento o mala gestión (Wigham et al.,2019; Huang et al.,2018). En contraste, muchos sistemas tradicionales se basaban solo en chequear la presencia de infraestructura (¿hay ventiladores?, ¿hay reglamentos escritos?) sin confirmar si las aves realmente están cómodas (Teke et al.,2019). Este protocolo propuesto equilibra ambos enfoques, asegurando que *no solo existan medios*, sino que *los fines (el bienestar real)* se cumplan.

El diseño del Protocolo Colombiano de Bienestar Animal en Plantas de Sacrificio de Aves (PCBA-AVES) se estructuró sobre los principios y criterios del modelo (WQ), adaptándolos a las condiciones normativas, operativas y climáticas de Colombia. Para facilitar su aplicación en campo, se organizaron los criterios por zonas funcionales de la planta de sacrificio, lo que permite una evaluación segmentada y contextual por parte de los médicos veterinarios responsables del bienestar animal.

La siguiente tabla 6 sintetiza dicha adaptación, especificando los principios aplicables en cada zona, los criterios utilizados y su justificación bajo las condiciones propias del entorno colombiano. Esta estructura operativa permite optimizar el monitoreo, intervenir puntos críticos de forma proactiva y consolidar un enfoque técnico integral del bienestar animal en el contexto nacional.

Tabla 6.
Adaptación de principios y criterios WQ en el Protocolo Colombiano PCBA-AVES según zonas funcionales del planta de sacrificio

Zona funcional de la planta	Principios WQ aplicables	Criterios WQ adaptados	Justificación / observación contextual (Colombia)
Recepción y espera de las aves (desde la llegada de camiones, descarga de jaulas y periodo de espera previo al procesamiento)	Buena alimentación; Buen alojamiento; Buena salud; Comportamiento adecuado	Ausencia de hambre prolongada; Ausencia de sed prolongada; Confort térmico; Confort en el descanso; Facilidad de movimiento; Ausencia de lesiones; Ausencia de enfermedades; Ausencia de dolor causado por el manejo; Expresión adecuada de otras conductas; Estado emocional positivo.	<p>En la recepción y estancia temporal de las aves se gestionan sus necesidades básicas tras el transporte. Se controla el tiempo de ayuno pre-sacrificio para evitar hambre excesiva, y se procura hidratación si la espera es prolongada (evitando sed prolongada). Además, la zona de espera debe proveer condiciones ambientales adecuadas que minimicen el estrés térmico y la deshidratación (ventilación, sombra, rociadores, tiempos de espera cortos). Dado el clima tropical y la altitud variable en Colombia, estas medidas son cruciales para mantener a las aves dentro de su rango de confort térmico (Allen et al., 2023; Zhang et al., 2020).</p> <p>La falta de una normatividad específica sobre infraestructura de espera en el país ha llevado a que las plantas adopten voluntariamente buenas prácticas, como bahías techadas o ventilación asistida, siguiendo criterios técnicos sugeridos en protocolos internacionales (OMSA, 2024; Saraiva et al., 2020).. No obstante, la Resolución 0253 de 2020 del Ministerio de Agricultura ha comenzado a establecer lineamientos generales sobre bienestar en diferentes especies (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020), aunque su aplicación práctica en plantas de beneficio de aves aún requiere mayor desarrollo.</p> <p>Igualmente, el protocolo enfatiza la manipulación cuidadosa durante el descargue: los operarios deben evitar movimientos bruscos (no lanzar o aplastar jaulas) para prevenir lesiones físicas (contusiones, fracturas) y dolor en las aves. Se monitorean indicadores de estrés como jadeo, vocalizaciones o plumaje erizado mientras las aves esperan, de modo que el personal pueda tomar acciones correctivas si se observan signos de angustia, miedo o malestar (Cockram et al., 2018; Caffrey et al., 2017; Beño et al., 2021).</p> <p>En la fase de insensibilización, el enfoque principal es prevenir el dolor agudo y el miedo en las aves. Colgar e inmovilizar a las aves de forma adecuada evita causarles nuevas lesiones (por ejemplo, dislocaciones al suspenderlas en los ganchos) (Contreras-Jodar et al., 2022; Wessel et al., 2022).</p> <p>El protocolo exige un aturrido eficaz e inmediato tras el colgado, ya sea mediante baño de agua electrificado (método convencional) o mediante atmósfera controlada con gas, para asegurar que la incisión de sacrificio no provoque dolor consciente (cumpliendo el criterio de ausencia de dolor por manejo) (Fuseini et al., 2023; Barahona-Dominguez et al., 2025; Rocha et al., 2024).</p>
Área de colgado y aturrido (inmovilización de las aves vivas en la línea, incluidos el colgado invertido en ganchos y el proceso de insensibilización antes del corte)	Buena salud; Comportamiento adecuado	Ausencia de lesiones; Ausencia de dolor causado por el manejo; Expresión adecuada de otras conductas; Estado emocional positivo.	<p>De hecho, recomendaciones científicas señalan que para evitar consecuencias severas (dolor, pánico), no se debería colgar a las aves estando conscientes por más tiempo del necesario. Por ello, se minimiza el intervalo entre el colgado y el aturrido, y se incluyen opciones tecnológicas (uso de gas CO₂) que eliminan la necesidad de manipulación consciente, reduciendo significativamente el estrés (Papageorgiou et al., 2025; Welfare Quality® Network, 2020).</p> <p>Asimismo, se implementan medidas de manejo calmado: iluminación tenue o azul, reducción de ruido y movimientos suaves, junto con dotación suficiente de personal capacitado en bienestar. La capacitación de los operarios es clave, ya que la mayoría de riesgos provienen de un manejo inadecuado del personal (Wigham et al., 2019; Hoyos-Patiño et al., 2020).</p> <p>En Colombia se han reportado problemas cuando falta personal o entrenamiento, llevando a prácticas incorrectas como colgar aves de una sola pata o manipular con brusquedad, lo que genera fracturas y sufrimiento innecesario. Por consiguiente, el protocolo PCBA-AVES refuerza la necesidad de contar con operarios suficientes y entrenados en esta zona, así como dispositivos que reduzcan la reacción de las aves (masajeadores de pechuga en la línea) para mantenerlas lo más tranquilas posible (Carrascal et al., 2021; Servicio Agrícola y Ganadero, 2025).</p> <p>Estas adaptaciones aseguran que el comportamiento observable en las aves durante el aturrido (ausencia de vocalizaciones de alarma o aleteos excesivos) indique un estado emocional tranquilo, cumpliendo con el criterio de estado emocional positivo justo antes del sacrificio (Averós et al., 2022; Welfare Quality Network, 2019).</p>

Sangrado, escaldado e inspección post-mortem (fase de sacrificio final: corte de vena yugular/ carótidas, desangrado, escaldado y evaluación de canales)

Buena salud (y Comportamiento adecuado, aplicado indirectamente)

Ausencia de lesiones; Ausencia de dolor causado por el manejo.

En esta última etapa se verifica que el sacrificio haya sido completo y humanitario antes de continuar con el faenado. El protocolo establece que todas las aves deben permanecer inconscientes desde el aturrido hasta la muerte; por tanto, se controla el tiempo y eficacia del sangrado para que ninguna recupere la conciencia ni ingrese viva al tanque de escaldado, lo cual generaría un sufrimiento extremo (Fuseini et al., 2023; Organización Mundial de Sanidad Animal [OMSA], 2024; Welfare Quality® Network, 2020).

Se confirma la inconsciencia y muerte antes del escaldado, en línea con las recomendaciones internacionales que exigen verificar la insensibilidad antes de proseguir con el despiece (European Parliament & Council of the European Union, 2019; Rocha et al., 2024).

Si se detectara alguna ave con signos de vida durante el sangrado o antes del escaldado (reflejo corneal, respiración), el personal aplica de inmediato un sacrificio de emergencia para evitar cualquier dolor adicional, conforme a las buenas prácticas de bienestar animal (OMSA, 2024; Contreras-Jodar et al., 2022).

Adicionalmente, durante la inspección post-mortem en evisceración, se evalúa la presencia de lesiones internas o externas en las canales (como hematomas, alas fracturadas, cianosis o acumulación de sangre no drenada) (Alfifi et al., 2020; Törmä et al., 2022).

Estos hallazgos se utilizan como indicadores retrospectivos de problemas de bienestar en etapas previas: por ejemplo, un porcentaje elevado de canales con fracturas o hemorragias subcutáneas sugiere manejo brusco o deficiencias en el aturrido (Cockram et al., 2018; Contreras-Jodar et al., 2022; Pirompud et al., 2023).

Estudios en plantas colombianas han relacionado factores de estrés previos (como calor excesivo en la espera) con mayores decomisos por cianosis en el eviscerado, reforzando la importancia de controlar las condiciones desde la llegada (Hoyos-Patiño et al., 2020; Quintana-Ospina et al., 2023).

Así, el protocolo adapta los criterios de ausencia de lesiones y ausencia de dolor por manejo hasta esta zona final, no solo para asegurar que ninguna ave experimente dolor al momento de la muerte, sino también para retroalimentar el sistema: los datos de lesiones en canal y métricas como la mortalidad ante-mortem se registran y analizan, permitiendo identificar puntos críticos y corregir prácticas operativas en las zonas previas (Saraiva et al., 2024; Alfifi et al., 2020; Jacobs et al., 2017b).

Esto cierra el ciclo de evaluación de bienestar, integrando el resultado del proceso como insumo para la mejora continua en la planta colombiana (Mullan et al., 2021; Welfare Quality Network, 2019).

Fuente: Elaboración propia con base en WQ y ajustes del PCBA-AVES. (WQ: cuatro principios y 12 criterios originales (Velarde & Dalmau, 2010).; adaptaciones contextuales según literatura y normativa colombiana, entre otras) (Vargas, 2022).

Otra fortaleza es la estructura por zonas y criterios, que facilita la aplicación práctica. La segmentación del planta de sacrificio en áreas críticas (descarga, espera, colgado, canales) coincide con la secuencia operacional y permite asignar responsabilidades claras al personal en cada etapa (transportistas en descarga, operarios en colgado) (Saraiva et al., 2024). Este enfoque ya ha demostrado efectividad en protocolos europeos, pues reduce la complejidad de la auditoría concentrándose en puntos críticos.

Además, el protocolo es integral: abarca desde factores previos al sacrificio (transporte) hasta resultados finales (calidad de canal), creando un puente de retroalimentación entre granja y planta. Por ejemplo, al registrar sistemáticamente datos de dermatitis plantar, emaciación o contusiones en planta de sacrificio, se pueden identificar granjas de origen con potenciales problemas de manejo, permitiendo tomar medidas preventivas en la producción (Saraiva et al., 2024; Mullan et al., 2021). Este sistema de “alertas tempranas” es concordante con políticas europeas como la Directiva 2007/43/CE, que exige monitorear en planta de sacrificio indicadores de bienestar para informar a las granjas (Alfifi et al., 2020). Implementar algo similar en Colombia posicionaría al país a la vanguardia regional en vigilancia de bienestar animal.

El PCBA-AVES también aporta rigurosidad científica a las evaluaciones oficiales. Actualmente, los controles de bienestar en plantas de sacrificio colombianos pueden ser heterogéneos, dependiendo del inspector y de listas de chequeo básicas (Carrascal et al.,2021). Al contar con un protocolo estandarizado respaldado por literatura, se homogeneizarán criterios y se podrán generar estadísticas comparables en el tiempo y entre plantas. Como, definir formalmente que una mortalidad al arribo >0,5% es “insatisfactoria” crea un referente objetivo donde antes podía haber apreciaciones subjetivas (Gickel et al.,2024; Villamañe, Trevisi & Yuño, 2021). Esto beneficiará tanto a la autoridad sanitaria (ICA/INVIMA) para enfocar acciones, como a las empresas, que recibirán parámetros claros de desempeño.

Cabe destacar la alineación normativa: el protocolo refuerza el cumplimiento de la normatividad colombiana vigente. La Ley 1774 y la Política Nacional de Bienestar Animal exigen proteger a los animales del maltrato en todas las etapas, pero aterrizar esos principios en prácticas medibles había sido un reto. PCBA-AVES traduce “no causar estrés ni dolor innecesario” en indicadores concretos (evitar pre-choques eléctricos, minimizar tiempo de inversión en grilletes) que pueden ser auditados.

Asimismo, el protocolo incorpora la obligatoriedad de capacitación en bienestar animal para el personal involucrado, en línea con la Resolución 136 de 2020 que en Colombia exige formar a operarios de plantas de beneficio en bienestar. Estudios han demostrado que la formación del personal reduce significativamente comportamientos bruscos y mejora indicadores como menor aleteo y menos fracturas en planta (Wessel et al.,2022; Wigham et al.,2019). Por ello, incluimos la verificación de capacitación y buenas prácticas como un elemento del criterio de “buena relación humano-animal”, aun cuando WQ no lo medía explícitamente en planta de sacrificio. Esta adaptación local es una fortaleza que muestra cómo el protocolo puede evolucionar más allá de la plantilla europea para adecuarse a nuestras necesidades.

Comparación con otros modelos existentes: Al comparar el PCBA-AVES con el protocolo WQ original y con la adaptación española Welfair™, se encuentran varias similitudes y algunas diferencias notables. En común está la filosofía de cubrir un amplio espectro de criterios de bienestar de forma sistemática. Al igual que Welfair™, nuestro protocolo limita la evaluación a 10 criterios (excluyendo comportamiento social y la familiaridad humano-animal cotidiana, irrelevantes en planta de sacrificio). También coincide en muchos indicadores clave: DOA, lesiones en canal, pododermatitis, parámetros de aturrido, son utilizados en Europa y aquí.

Sin embargo, el PCBA-AVES introduce indicadores adaptados a condiciones tropicales y a prácticas locales. En Colombia la variabilidad climática (desde plantas en climas cálidos y húmedos hasta andinos fríos) exige mayor énfasis en confort térmico (Quintana-Ospina et al.,2023). Este protocolo realza este aspecto (midiendo pantallas ambientales, jadeo, uso de nebulizadores) más allá de lo que podría ser prioritario en un clima templado. Igualmente, dado que en el país aún coexisten plantas de sacrificio de diversa escala y tecnificación, fue importante incluir verificaciones tanto para sistemas automatizados (presencia de robots de descarga, como referencia ideal) como para manuales (técnicas correctas de agarre de aves al descargar) (Villamañe, Trevisi & Yuño, 2021). En esencia,

PCBA-AVES busca ser aplicable desde plantas altamente tecnificadas hasta plantas de sacrificio medianos, proveyendo un camino de mejora continua para todos.

Comparado con modelos puramente normativos, el protocolo es más exigente. La reglamentación colombiana (y muchas latinoamericanas) se enfoca en requerimientos generales de infraestructura y en prohibiciones de actos crueles, pero no establece métricas numéricas de resultado (Souza et al.,2018). Por ello, PCBA-AVES va más allá al fijar umbrales cuantitativos (inspirados en estándares científicos). Esto lo asemeja más a esquemas voluntarios de certificación de calidad que al simple cumplimiento legal mínimo. Ninguna ley colombiana dice “menos del 0,5% de mortandad en transporte”, pero el protocolo sí lo plantea como meta basada en referencias europeas (Villamañe, Trevisi & Yuño, 2021; Saraiva et al.,2020). En este sentido, PCBA-AVES podría servir de base para un sello de bienestar animal colombiano, al estilo del sello Welfair™ español, diferenciando productos avícolas que provengan de plantas con alto desempeño en bienestar (IRTA, 2019). Esto tendría un valor agregado en mercados que comienzan a demandarlo.

No obstante, conviene también señalar diferencias y posibles limitaciones frente a WQ. El sistema de puntuación WQ original utiliza algoritmos matemáticos avanzados (curvas suavizadas por tramos) para agrupar medidas y obtener calificaciones finales (Welfare Quality® Network, 2020). Este diseño teórico simplifica la interpretación con umbrales directos por indicador, lo cual facilita su adopción inicial pero podría requerir una ponderación refinada a futuro. En este sentido, WQ da mayor peso a ciertos criterios críticos; en PCBA-AVES se sugiere que la ausencia de lesiones graves y de inconsciencia durante el sacrificio sean requisitos *sine qua non* (cualquier incumplimiento grave en esos aspectos implicaría reprobación de la auditoría). Otros indicadores menos críticos (tiempo de espera dentro de rangos tolerables) podrían tener un peso menor en la calificación global. Estos detalles de escala de valoración deberán ser ajustados durante la etapa de validación empírica, idealmente mediante análisis estadísticos multivariados de datos reales de plantas colombianas.

Desafíos para la implementación: Si bien el diseño del PCBA-AVES es técnicamente robusto, su puesta en práctica enfrentará algunos desafíos. Uno principal es la capacitación y estandarización de evaluadores. Aplicar este protocolo requiere observadores entrenados capaces de identificar sutiles señales en las aves (como distinguir un aleteo “normal” de uno indicativo de dolor intenso, o evaluar correctamente el estado de consciencia post-aturdido).

En Europa, se ha profesionalizado la figura del *Animal Welfare Officer* en plantas de sacrificio; en Colombia será crucial formar al personal existente (inspectores oficiales del INVIMA, MVZ o Z de planta) en los criterios del protocolo para asegurar consistencia (Schneidewind et al.,2024; European Parliament & Council of the European Union, 2019;Wigham et al.,2019). Afortunadamente, como se indicó, la normativa ya obliga a la presencia de profesionales veterinarios en planta, quienes podrían asumir este rol con el entrenamiento adecuado.

Otro reto es la adecuación de infraestructura y procesos para cumplir con los umbrales. En relación a esto, mantener la temperatura de espera dentro de 18-21°C puede requerir

inversiones en sistemas de climatización o mejor ventilación que algunas plantas pequeñas no poseen actualmente (Zhang et al.,2020). Del mismo modo, reducir la densidad de transporte en épocas cálidas (menos aves por jaula) podría implicar costos logísticos adicionales (más viajes) (Szöllösi & Csorbai, 2025). Los umbrales propuestos se basan en ciencia que demuestra mejoras de bienestar y calidad al seguirlos, pero las empresas deberán balancear esas recomendaciones con consideraciones económicas (Pirompu et al.,2023).

Es entendible cierta resistencia inicial de la industria ante medidas percibidas como onerosas; por ello, la implementación podría plantearse gradualmente. El protocolo podría emplearse primero como *diagnóstico* para identificar las áreas de mayor oportunidad en cada planta, y luego orientar las inversiones hacia donde más impacto tengan en bienestar (una planta X podría descubrir que su mayor problema es el calor en la espera, y priorizar la construcción de un área de descanso techada con ventiladores). En este sentido, el PCBA-AVES puede verse no solo como auditoría sino como una herramienta de gestión.

Recolección de datos y su manejo: es otro aspecto a resolver. Idealmente, los hallazgos de cada evaluación deberían registrarse en una base de datos central (como proceso investigativo en una base de datos de la UFPSO y UniAmazonia), generando indicadores nacionales de bienestar. Esto permitiría evaluar la efectividad de políticas a lo largo del tiempo (¿disminuyen los DOA anuales tras capacitaciones?, ¿mejoran los índices de lesiones tras tal medida?). Sin embargo, implementar sistemas de información unificados en el sector pecuario colombiano es históricamente difícil. Será necesario apoyo institucional y quizás pilotos regionales para demostrar la utilidad de centralizar estos datos.

Por último, la validación científica del protocolo en terreno colombiano es un paso pendiente. Si bien se ha fundamentado cada indicador en literatura y experiencias foráneas, las condiciones locales podrían arrojar resultados diferentes. Tal vez se descubra que en carreteras y altitudes un 0,8% de DOA es frecuente incluso con buenas prácticas, o que cierto indicador no es fácilmente medible en la realidad. Por ello, se recomienda realizar estudios piloto en varias plantas de beneficio (de distinto tamaño y clima) aplicando el PCBA-AVES, y analizar estadísticamente la distribución de los indicadores, su correlación con otros parámetros (peso vivo, distancia de transporte) y su repetibilidad entre evaluadores.

Esta validación permitirá ajustar umbrales o incluso añadir/quitar indicadores para optimizar la sensibilidad del protocolo. Un indicador muy redundante podría eliminarse; uno nuevo podría incluirse si se identifica alguna carencia. Por ejemplo, podría considerarse integrar la *medición de corticosterona* en aves sacrificadas como indicador fisiológico de estrés si la tecnología lo hace viable en el futuro (Siska, Latif & Purnawarman, 2025).

Relevancia normativa y proyección: La adopción formal del PCBA-AVES por parte de las autoridades competentes (MADR, MinSalud, ICA, INVIMA) supondría un fortalecimiento del marco de protección animal en Colombia. En línea con el Sinapyba creado en 2025, que busca articular sector público, privado y academia en bienestar animal, este protocolo ofrece una base técnica para normativas secundarias específicas (resoluciones para bienestar en plantas de sacrificio, manuales de evaluación oficial) (Páez, 2025; Jacobs

et al.,2017a). Asimismo, sienta las bases para que Colombia se alinee con estándares internacionales, lo cual podría facilitar el acceso a mercados externos que valoran el bienestar animal como parte de la inocuidad y calidad (la UE evalúa incluir requerimientos de bienestar en acuerdos comerciales futuros).

Internamente, elevar el nivel de bienestar en plantas de sacrificio también tiene implicaciones éticas y sociales positivas: reduce el sufrimiento de miles de millones de aves sacrificadas anualmente y responde a una ciudadanía cada vez más consciente y exigente en materia de trato digno a los animales (Barahona-Dominguez et al.,2025).

En comparación con otros países de la región, la evidencia científica disponible sugiere que en América Latina predominan marcos normativos generales y evaluaciones técnicas puntuales del bienestar animal en plantas de sacrificio avícola, mientras que los protocolos operativos integrales, con indicadores estandarizados, umbrales definidos y sistemas de auditoría por etapas del proceso, se reportan con menor frecuencia en la literatura especializada. Estudios desarrollados en países como Brasil y Argentina se han concentrado principalmente en la evaluación de parámetros específicos del aturdimiento y su relación con el bienestar y la calidad de la carne, o en la proposición de criterios parciales de evaluación por fases del proceso, frecuentemente alineados con exigencias regulatorias internacionales más que con esquemas regionales propios de verificación sistemática (Rocha et al., 2024; Villamañe et al., 2021).

De manera similar, los enfoques institucionales documentados en Chile y México reflejan una estructuración del bienestar animal en el sacrificio basada en normativa y fiscalización, sin la adopción generalizada de protocolos detallados comparables entre plantas, lo que abre una oportunidad para que Colombia consolide y proyecte desarrollos técnicos más avanzados en este ámbito (SAG, 2025; Delgadillo, 2016).

Limitaciones del protocolo y aspectos pendientes

Aunque el Protocolo Colombiano de Bienestar Animal en Plantas de Sacrificio de Aves constituye un avance en la implementación de estándares nacionales, aún presenta limitaciones que deben reconocerse:

1. No se ha validado estadísticamente la sensibilidad y especificidad de todos los indicadores en diferentes regiones climáticas del país.
2. La implementación voluntaria limita la homogeneidad en la adopción, especialmente en plantas de pequeña escala.
3. Se requieren pruebas piloto con acompañamiento técnico para medir la variabilidad interobservador de la evaluación por indicadores conductuales (Contreras-Jodar et al., 2022).
4. No se incluyen métricas de impacto económico relacionadas con el bienestar (por ejemplo, relación entre mejora en indicadores y reducción de decomisos).

Futuros estudios deben abordar la validación de umbrales críticos, el entrenamiento del personal evaluador y la digitalización de la recolección de datos para robustecer la trazabilidad del bienestar.

CONCLUSIONES

El presente trabajo hace la presentación preliminar del Protocolo Colombiano de Bienestar Animal en Plantas de Sacrificio de Aves (PCBA-AVES). Su diseño, sustentado en los principios del modelo WQ y adaptado a las particularidades normativas, operativas y climáticas de Colombia, podría contribuir a la estandarización del bienestar animal en las diferentes zonas del planta de sacrificio.

El PCBA-AVES se distingue por su enfoque centrado en el animal y su aplicabilidad tanto en contextos regulatorios como voluntarios, se proyecta como instrumento preliminar de apoyo, para auditoría interna y certificación de buenas prácticas.

Finalmente, se resalta la necesidad de avanzar hacia la validación en campo del protocolo, con estudios que correlacionen sus indicadores con parámetros productivos y sanitarios. Esta fase permitirá afinar umbrales, reforzar su aplicabilidad y sustentar su incorporación formal en la normativa nacional.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declara que no existe ningún conflicto de intereses en relación con este trabajo.

Declaración sobre el uso de IA: El presente artículo fue gestionado con la asistencia de herramientas de inteligencia artificial (IA) para la búsqueda bibliográfica y la generación inicial de texto. Dichos medios fueron empleadas bajo la supervisión y criterio profesional del autor, quien verificó y editó cuidadosamente todo el contenido. La IA se utilizó como apoyo para agilizar la preparación del manuscrito, garantizando en todo momento la integridad, precisión y originalidad académica del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfifi, A., Dalsgaard, A., Christensen, J. P., Larsen, M. H., & Sandberg, M. (2020). The association between meat inspection codes, footpad lesions and thinning of broiler flocks in the Danish broiler production. *Preventive Veterinary Medicine*, 185, 105205. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105205>
- Allen, S. E., Parker, C. D., Verheyen, K. L. P., Nicol, C. J., & Chang, Y. M. (2023). Effects of external ambient temperature at loading, journey duration and flock characteristics on the dead-on-arrival rate in broiler chickens transported to slaughter in Great Britain. *Poultry Science*, 102(6), 102634. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102634>
- Averós, X., et al. (2022). Animal welfare assessment: Quantifying differences among commercial broiler flocks with a protocol integrating indicators from the Welfare Quality® and AWIN® projects. *Frontiers in Animal Science*, 3, 868851. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.868851>
- Barahona-Dominguez, L., An, J., Baker-Cook, B., & Cho, S. (2025). US consumer perception survey of animal welfare in broiler stunning. *Frontiers in Animal Science*. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1511111>

org/10.3389/fanim.2025.1620566

- Barrientos Monsalve, E. J., Velásquez-Carrasca, B. L., & Hoyos-Patiño, J. F. (2021). Contemporaneidad de las corrientes del pensamiento en los paradigmas de investigación. *Aglala*, 12(S1), 163–181. Recuperado a partir de <https://revistas.curn.edu.co/index.php/aglala/article/view/2128>
- Barrientos-Monsalve Ender José, Sotelo-Barrios Mauricio Enrique y Hoyos-Patiño Johann Fernando (2023). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. Guía práctica para la formulación de proyectos de investigación con ejemplos en áreas de administración y diseño*. Primera edición. Ocaña, Norte de Santander: Universidad Francisco de Paula Santander; Bogotá: Ecoe Ediciones, 100 páginas. ISBN 978-958-503-827-1 (impreso) -- 978-958-503-828-8 (digital) <https://n9.cl/36lba>
- Beño, F., Škorpilová, T., Pohůnek, V., Bauer, J., & Ševčík, R. (2021). Comparison of the Automatic and Manual Broiler Pre-Slaughter Chain Based on Trailer Microclimate during Transportation and Its Effect on *m. pectoralis major*. *Animals*, 11(10), 2946. <https://doi.org/10.3390/ani11102946>
- Birhanu, M. Y., Osei-Amponsah, R., Yeboah Obese, F., & Dessie, T. (2023). Smallholder poultry production in the context of increasing global food prices: roles in poverty reduction and food security. *Animal frontiers : the review magazine of animal agriculture*, 13(1), 17–25. <https://doi.org/10.1093/af/vfac069>
- Caffrey, N. P., Dohoo, I. R., & Cockram, M. S. (2017). Factors affecting mortality risk during transportation of broiler chickens for slaughter in Atlantic Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, 147, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.09.011>
- Carrascal V., J. C., Pastrana-Camacho, A. del P., López Ayala, V., Velásquez A., V. M., Cajiao P., M. N., & Córdoba P., J. D. (2021). Animal welfare evaluation at slaughterhouses for pigs at the “Eje Cafetero” region in Colombia. *Meat Science*, 172, 108337. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108337>
- Cockram, M. S., Dulal, K. J., Mohamed, R. A., & Revie, C. W. (2018). Risk factors for bruising and mortality of broilers during manual handling, module loading, transport, and lairage. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(1), 50–65. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2018-0032>
- Congreso de la República de Colombia. (2016). Ley 1774 de 2016. Por medio de la cual se modifican el Código Civil, la Ley 84 de 1989, el Código Penal, el Código de Procedimiento Penal y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 49.747. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=74846>
- Contreras-Jodar, A., et al. (2022). Inter-observer repeatability of indicators of consciousness after waterbath stunning in broilers. *Animals*, 12(14), 1800. <https://doi.org/10.3390/>

ani12141800

de Jong, I. C., Ouweltjes, W., Llonch, P., Martin Valls, G. E., Ko, H.-L., Spoolder, H., & Strappini, A. C. (2025). A review of existing scientific literature on welfare assessment of farmed species applied in commercial practice: Identification of strengths, weaknesses, and areas for further development. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1589462. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1589462>

Decreto 810 de 2025 (2025). Por el cual se adiciona el Capítulo 3A al Título 2 de la Parte 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015, en lo relacionado con la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Protección y Bienestar Animal (SINAPYBA), con enfoque de articulación intersectorial en protección y bienestar animal. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=185514&utm_source=chatgpt.com

Delanglez, F., Delezie, E., Tuyttens, F., Demaître, N., Kempen, I., Ampe, B., Watteyn, A., Van Meirhaeghe, H., Sleenckx, N., Segers, V., Garmyn, A., & Antonissen, G. (2025). Comparing methods for catching and crating broiler chicken flocks: A trade-off between animal welfare, ergonomics and economics. *Poultry Science*, 104(2), Article 104704. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104704>

Delgadillo, J. (2016). Bienestar animal. Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). <https://www.woah.org/fr/animal-welfare-conf2016/PTT/WG.4.%20Delgadillo.pdf>

European Parliament & Council of the European Union. (2019). Council Regulation (EC) No 1099/2009 of 24 September 2009 on the protection of animals at the time of killing (consolidated version). EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1099-20191214>

Fuseini, A., Miele, M., & Lever, J. (2023). Poultry Welfare at Slaughter. *Poultry*, 2(1), 98-110. <https://doi.org/10.3390/poultry2010010>

Gickel, J., Visscher, C., Kemper, N., & Spindler, B. (2024). Analysis of the Broiler Chicken Dead-on-Arrival (DOA) Rate in Relation to Normal Transport Conditions in Practice in Germany. *Animals*, 14(13), 1947. <https://doi.org/10.3390/ani14131947>

Grilli, C., Stocchi, R., Loschi, A. R., Conti, F., & Rea, S. (2018). Survey on broiler pre-slaughter mortality in a commercial abattoir of central Italy. *Italian journal of food safety*, 7(3), 5878. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.5878>

Hoyos-Patiño, J. F., Quintero-Meza, M., & Velásquez-Carrascal, B. L. (2020). Bienestar animal en el proyecto avícola de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. *Mundo FESC*, 10(19), 88-101. Recuperado a partir de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/513>

- Hoyos-Patiño, Johann Fernando and Hernández-Villamizar, Daniel Antonio and Velasquez-Carrascal, Blanca Liliana, Condiciones de bienestar en sistemas de producción animal (2021). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4182002> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4182002>
- Huang, J. C., Yang, J., Huang, M., Zhu, Z. S., Sun, X. B., Zhang, B. H., Xu, X. L., Meng, W. G., Chen, K. J., Xu, B. C., & Xu, B. C. (2018). Effect of pre-slaughter shackling and wing flapping on plasma parameters, postmortem metabolism, AMPK, and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 97(5), 1841–1847. <https://doi.org/10.3382/ps/pey019>
- Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). (2019). Welfair™, la primera certificación de bienestar animal que se centra en la evaluación del estado y comportamiento de los animales. <https://www.irta.cat/es/noticia/welfair-la-primera-certificacion-de-bienestar-animal-que-se-centra-en-la-evaluacion-del-estado-y-comportamiento-de-los-animales/>
- Jacobs, L., Delezie, E., Duchateau, L., Goethals, K., & Tuytens, F. A. M. (2017a). Broiler chickens dead on arrival: Associated risk factors and welfare indicators. *Poultry Science*, 96(2), 259–265. <https://doi.org/10.3382/ps/pew353>
- Jacobs, L., Delezie, E., Duchateau, L., Goethals, K., & Tuytens, F. A. M. (2017b). Impact of the separate pre-slaughter stages on broiler chicken welfare. *Poultry Science*, 96(2), 266–273. <https://doi.org/10.3382/ps/pew361>
- Junghans, A., Roth, N., Meyer, M., et al. (2022). Data evaluation of broiler chicken rearing and slaughter—... *Frontiers in Veterinary Science*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.957786>
- Louton, H., Piller, A., Bergmann, S., Erhard, M., Schmidt, P., Kemper, N., Schulte-Landwehr, J., & Schwarzer, A. (2022). Validation of an automatic scoring system for the assessment of hock burn in broiler. *Poultry Science*, 101(9), 102025. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102025>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Resolución 0253 de 2020: Por la cual se adoptan los manuales de condiciones de bienestar animal propias de cada una de las especies de producción en el sector agropecuario (MADR). <https://www.ica.gov.co/getattachment/Areas/Pecuaria/Servicios/Inocuidad-en-las-Cadenas-Agroalimentarias/Bienestar-Animal/RESOLUCION-0253-del-2020-MADR.pdf.aspx?lang=es-CO>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena avícola: Cifras del sector. Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf#:~:text=del%201%2C8%20,568>

- Mohan, S., Madheshwaran, M., Kumar, A., Rokade, J. J., Mariappan, G., Biswas, A. K., Nagesh, S., & Tiwari, A. K. (2025). Evaluating the impact of pre-slaughter transport stress on broiler welfare and meat quality in India. *Scientific Reports*, 15, 39725. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23436-7>
- Mullan, S., et al. (2021). Longitudinal national-level monitoring of on-farm broiler welfare identifies consistently poorly performing farms. *Scientific Reports*, 11, Article 91347. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91347-4>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). (2016). Terrestrial Animal Health Code: Chapter 7.1. Introduction to the recommendations for animal welfare. https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/2016/en_chapitre_aw_introduction.htm
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). (2024). Animal welfare during slaughter (Chapter 7.5). En *Terrestrial Animal Health Code*. https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/2024/en_chapitre_aw_slaughter.htm
- Páez Rodríguez, Á. M. (2025). Gobierno crea el Sinapyba, primer sistema nacional para proteger el bienestar animal con participación estatal y ciudadana. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/gobierno-crea-el-sinapyba-primer-sistema-nacional-para-proteger-el-bienestar-animal-con-participacion-estatal-y-ciudadana-3473160>
- Papageorgiou, M., Tzamaloukas, O., & Simitzis, P. (2025). Animal Welfare Protocols and Labelling Schemes for Broilers in Europe. *Poultry*, 4(3), 29. <https://doi.org/10.3390/poultry4030029>
- Pirompud, P., Sivapirunthep, P., Punyapornwithaya, V., & Chaosap, C. (2023). Preslaughter handling factors affecting dead on arrival, condemnations, and bruising in broiler chickens raised without an antibiotic program. *Poultry Science*, 102(8), 102828. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102828>
- Quintana-Ospina, G. A., Alfaro-Wisaquillo, M. C., Oviedo-Rondón, E. O., Ruiz-Ramirez, J. R., Bernal-Arango, L. C., & Martinez-Bernal, G. D. (2023). Effect of environmental and farm-associated factors on live performance parameters of broilers raised under commercial tropical conditions. *Animals*, 13(21), 3312. <https://doi.org/10.3390/ani13213312>
- Rocha, B. R. P., Adria, A., Lima, V. A., Weber, C. I., & Machado-Lunkes, A. (2024). Duty cycle and high-frequency effects on welfare and meat quality of broilers chicken: Compliance with European animal stunning regulation. *Ciência Rural*, 54(3), e20220668. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220668>
- Saraiva, S., Esteves, A., Oliveira, I., Mitchell, M., & Stilwell, G. (2020). Impact of pre-slaughter factors on welfare of broilers. *Veterinary and Animal Science*, 10, 100146. <https://doi.org/10.1590/1807-1721v10n1a01>

org/10.1016/j.vas.2020.100146

- Saraiva, S., Santos, S., García-Díez, J., Simões, J., & Saraiva, C. (2024). Comparative Analysis of Animal Welfare in Three Broiler Slaughterhouses and Associated Farms with Unsatisfactory Slaughterhouse Results. *Animals*, 14(17), 2468. <https://doi.org/10.3390/ani14172468>
- Schneidewind, S. J., Langforth, S., & Meemken, D. (2024). Animal welfare at German abattoirs: Insights into the occurrence of violations against laws and regulations from official veterinarians and judicial decisions. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1354039. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1354039>
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2025). Gestión 2024. Gobierno de Chile. <https://www.sag.cl/sites/default/files/CPP2025%20Gestio%CC%81n%202024.pdf>
- Siska, W., Latif, H., & Purnawarman, T. (2025). The evaluation of animal welfare indicators based on transport duration and lighting differences in the slaughter of broiler chickens. *Open Veterinary Journal*, 15(5), 1990–1997. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i5.13>
- Sistema de integración de medidas para el protocolo de valoración del bienestar animal del pollo de engorde en planta de sacrificio. (2023). *Animal Welfare*. <https://www.animalwelfare.com/docs/sacrificio-pollos/protocolo/PR.M13.V1.091224.ES.pdf>
- Smaldone, G., Capezzuto, S., Ambrosio, R. L., Peruzzy, M. F., Marrone, R., Peres, G., & Anastasio, A. (2021). The Influence of Broilers' Body Weight on the Efficiency of Electrical Stunning and Meat Quality under Field Conditions. *Animals*, 11(5), 1362. <https://doi.org/10.3390/ani11051362>
- Souza, A. P. O., Taconeli, C. A., Plugge, N. F., & Molento, C. F. M. (2018). Broiler Chicken Meat Inspection Data in Brazil: A First Glimpse into an Animal Welfare Approach. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 20(3), 547–554. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2017-0706>
- Szöllősi, L., & Csorbai, A. (2025). The impact of reduced loading density on slaughter chicken transport: A Hungarian case study. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce – APSTRACT*, 19(1), 89–98. <https://doi.org/10.19041/APSTRACT/2025/1/8>
- Teke, B., et al. (2019). Survey on dead on arrival of broiler chickens under commercial transport conditions. *Large Animal Review*. https://vetjournal.it/images/archive/LAR%202019/LAR%206/Teke_imp_ok.pdf
- Törmä, K., Kaukonen, E., Lundén, J., Fredriksson-Ahomaa, M., & Laukkanen-Ninios, R. (2022). A comparative analysis of meat inspection data as an information source of the health and welfare of broiler chickens based on Finnish data. *Food Control*, 138,

109017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109017>

Unterholzner, V., & otros autores. (2025). Loading-related injuries of mechanically loaded broilers under field conditions. *Poultry Science*. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105297>

Vargas Tinjacá, A. M. (2022). Manual de bienestar animal en planta de beneficio ubicada en Piedecuesta, Santander [Práctica social, empresarial y solidaria para optar al título de Médica Veterinaria Zootecnista, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/65db1e0f-23d1-4c45-9c92-66edb868835f/content>

Velarde, A., & Dalmau, A. (2010). Evaluación del bienestar: Protocolo Welfare Quality®. 3tres3.com. https://www.3tres3.com/latam/articulos/evaluacion-del-bienestar-protocolo-welfare-quality%C2%AE_10898/

Villamañe, R., Trevisi, D., & Yuño, M.. (2021). Criterios de evaluación para el bienestar animal en planta de faena de aves. *Revista veterinaria*, 32(1), 58-63. <https://doi.org/10.30972/vet.3215636>

Welfare Quality Network. (2019). Los protocolos: Protocolos Welfare Quality® de evaluación del bienestar animal. <https://www.welfarequalitynetwork.net/es-es/certificacion-welfare/los-protocolos/>

Welfare Quality® Network. (2020). Welfare Quality® assessment protocol for poultry.

Welfare Quality® Network. (2020). Welfare Quality® assessment protocol for poultry: Broiler chickens at slaughterhouse. <https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1293/poultry-protocol-watermark-6-2-2020.pdf>

Wessel, J., et al. (2022). A comparison of two manual catching methods of broiler chickens: effects on behavior and injuries. *Poultry Science*. (Artículo en línea). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579122004163>

Wigham, E., Grist, A., Mullan, S., Wotton, S., & Butterworth, A. (2019). The influence of welfare training on bird welfare and carcass quality in two commercial poultry primary processing plants. *Animals*, 9(8), 584. <https://doi.org/10.3390/ani9080584>

Zhang, L., Huang, H., Wang, P., Xing, T., & Xu, X. (2020). Water-spraying forced ventilation during holding improves the water holding capacity, impedance, and microstructure of breast meat from summer-transported broiler chickens. *Poultry Science*, 99(3), 1744–1749. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.077>