

Interserrana: *Ciencia, Cultura y Territorio*



Nombre de la imagen: *La sierra que camina* **Autor:** ANTOBE

Vol. 1, Núm. 1 · enero – junio 2026

ISSN electrónico: en trámite | **Reserva INDAUTOR:** 04-2026-013011285500-102

Licencia: CC BY-NC 4.0 (Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional)

UNIVERSIDAD INTERSERRANA DEL ESTADO DE PUEBLA-AHUACATLÁN (UIEPA)

Ahuacatlán, Puebla | posgrado@uiepa.edu.mx | www.uiepa.edu.mx



Interserrana:

Ciencia, Cultura y Territorio

Rev. Interserrana Cienc. Cult. Territ. · Vol. 1, Núm. 1 · 2026

CINTILLO LEGAL

Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio, Vol. 1, Núm. 1, Enero–Junio 2026. Periodicidad: Semestral. Publicación digital de acceso abierto. ISSN electrónico: En trámite. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR): 04-2026-013011285500-102. Licencia: Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0). Editada por: Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA). Editor responsable de este número: Dr. José Claudio Bernal Alzate. Domicilio de la publicación: Carr. Ahuacatlán-Tepetzintla Km. 1.5, 73330, Ahuacatlán, Puebla, México. Correo electrónico: posgrado@uiepa.edu.mx. Sitio web: <https://uiepa.edu.mx>. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de los autores, salvo en los términos previstos por la licencia CC BY-NC 4.0.

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA)

Encargada de Despacho de la Rectoría

Lic. Monserrat García Fuentes

Encargada de la Dirección Académica

Dra. Laura Ortega Hernández

Jefatura de Dirección de Presupuesto y Contabilidad

Lic. Daniela Pérez Pérez

Jefatura de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Dr. José Claudio Bernal Alzate

COMITÉ EDITORIAL

Coordinador Editorial

Dr. José Claudio Bernal Alzate

Editora en Jefe

Dra. Laura Ortega Hernández

Editores del Área de Ciencia, Tecnología e Innovación Territorial

Dra. Anayeli Torres Beltrán

Dra. Nely Olivia Ibarra González

Editores del Área de Cultura, Turismo y Desarrollo Local

Dr. Mauro Sanvicente López

Dr. Samuel Luis Rojas

Responsable de la Revisión Técnica

Dra. Cipatli García Dalman

Responsable de la Difusión y Divulgación

M.C. Verónica León Arias

Responsable de la Gestión Editorial

M.C. Edison Milton Balvín Sánchez

Asesora en Ética y Revisión por Pares

M.C. Diana Aranda Muñoz

PRESENTACIÓN

Presentamos el primer número de *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*. Que exista se debe, en primer término, a que las autoridades de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán entendieron que una institución de educación superior necesita un espacio propio para publicar lo que investiga, y respaldaron el proyecto cuando todavía era una idea sin forma. Las revistas universitarias no aparecen por decreto ni se levantan en una sola gestión: se arman despacio, entre reuniones que se alargan, revisiones que se acumulan y decisiones pequeñas que nadie ve. Detrás de estas páginas hay comité editorial, editores de área, revisores técnicos, gente de sistemas y de difusión, y colegas que pusieron horas de sus tardes y de sus fines de semana porque les pareció que valía la pena. Este número existe porque muchas personas lo decidieron, cada quien desde su lugar.

Durante años, en la UIEPA hemos visto pasar investigaciones buenas que terminaban archivadas, o que salían a buscar acomodo en revistas lejanas donde el tema del maíz nativo o la salud comunitaria en la sierra parecía menor. Esa fue la razón de fondo para armar esto: dar un lugar donde el conocimiento que se produce en los territorios rurales, indígenas y serranos de México se publique con seriedad, sin tener que disfrazarse de otra cosa para ser tomado en serio.

Esa decisión se ve en lo que publicamos. La revista se organiza en tres áreas: ciencia, tecnología e innovación territorial; salud, bienestar y sostenibilidad; y cultura, turismo y desarrollo local. Los trabajos de este número recorren las tres. Un estudio documenta cómo conviven la medicina tradicional y la biomédica en el tratamiento de la diabetes tipo 2 en comunidades indígenas de la Sierra Norte de Puebla, y encuentra que atender esa convivencia mejora la adherencia al tratamiento en lugar de estorbarla. Otro propone un modelo de gestión biocultural del maíz nativo del Valle Texmeluquense, construido junto con quienes guardan la semilla, la llevan al mercado y la cocinan, que enlaza seguridad alimentaria, patrimonio y economía solidaria. Un tercero pone a prueba un sistema de reconocimiento facial ligero para el control de asistencia, pensado para instituciones rurales que no tienen infraestructura de sobra.

No son trabajos perfectos y no pretendemos que lo sean. Cada uno pasó por evaluación editorial y por revisión de pares a doble ciego, con revisión de similitud y las normas APA de por medio. Ese proceso a veces incomoda a los autores, y lo entiendo, pero es lo que separa una revista de un repositorio de textos. Agradezco a las y los árbitros que leyeron con cuidado y sin cobrar por ello; buena parte de la calidad de estas páginas se la deben a ellos.

Me cuesta nombrar lo que siento al cerrar este número. Orgullo, sí, pero mezclado con algo más difuso, más parecido a la nostalgia. Llevo años del otro lado del correo electrónico, esperando dictámenes que tardaban meses, aprendiendo a leer entre líneas los rechazos amables. Uno se acostumbra a esa espera y la asume como parte del oficio. Ahora me toca escribir esos correos, y descubro que del lado de acá también se duda: si el dictamen fue justo, si la observación se entendió, si el trabajo que rechazamos merecía otra lectura. No es un lugar cómodo, y sospecho que no debería serlo.

Lo que sí sé es que cada artículo de este número llegó porque alguien decidió confiar su trabajo a una revista que todavía no existía, sin garantías de que fuera a salir. Esa apuesta se agradece y se corresponde. A quienes vienen después: las

páginas están abiertas, y las leeremos con el cuidado que quisimos para nuestros propios trabajos cuando fuimos nosotros los que esperábamos.


Dr. José Claudio Bernal Alzate
Coordinador Editorial
Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio (RICCT)



CONTENIDO

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS ORIGINALES

Saberes locales y medicina biomédica en el tratamiento de la diabetes tipo 2 en comunidades indígenas 1–5

Domínguez-Cruz, G.

Salud, Bienestar y Sostenibilidad

Evaluación experimental de reconocimiento facial ligero para control de asistencia en entornos educativos rurales 6–15

Hernández-Solís, M. y Balvín-Sánchez, E.M.

Ciencia, Tecnología e Innovación Territorial

Enmienda orgánica con gallinaza mejora el desarrollo foliar de haba (*Vicia faba* L.) cultivada en Chignautla, Puebla, México 16–24

Victoria-Arellano, A.D., Lara-Peralta, J.A., Landero-Sánchez, P., López-Martínez, E. y Chávez, I.F.

Ciencia, Tecnología e Innovación Territorial

Repositorio institucional inteligente aplicado a comunidades rurales 25–34

Vicente-Anaya, I. y Balvín-Sánchez, E.M.

Ciencia, Tecnología e Innovación Territorial

Maíces nativos como alternativa de gestión local para seguridad alimentaria, salud y desarrollo del Valle Texmeluquense 35–42

Romero-Alonso, C.

Cultura, Turismo y Desarrollo Local

Valorización del bagazo cervecero para la producción de hongos comestibles y desarrollo local en Puebla 43–52

Xochipa-Morante, J.R., Xochipa-Morante, R.C., Vargas-Picado, H. y Macías-López, A.

Ciencia, Tecnología e Innovación Territorial

Antocianinas en maíz azul y berries del Izta-Popo: impacto en salud comunitaria y estrategias alimentarias 53–62

Xochipa-Morante, R.C. y Xochipa-Morante, J.R.

Salud, Bienestar y Sostenibilidad



ARTÍCULO ORIGINAL · SALUD, BIENESTAR Y SOSTENIBILIDAD

Saberes locales y medicina biomédica en el tratamiento de la diabetes tipo 2 en comunidades indígenas

Griselda Domínguez-Cruz^{1*}

¹ Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA), Licenciatura en Enfermería, Ahuacatlán, Puebla, México

* Autor(a) por correspondencia: al20en023@uiepa.edu.mx · ORCID: 0009-0004-1132-2053

RESUMEN

La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) constituye un problema crítico de salud pública en las comunidades indígenas de México, donde los determinantes sociales, las barreras lingüísticas y la limitada cobertura sanitaria agravan su impacto. El objetivo de esta investigación fue determinar la relación entre los saberes locales, las prácticas de medicina tradicional y el manejo biomédico de la DM2 en comunidades de alta marginación de la Sierra Norte de Puebla. Se realizó un estudio cuantitativo, observacional, transversal y analítico en el Hospital Comunitario de Ahuacatlán, Puebla, durante enero a mayo de 2025. Se aplicó una encuesta estructurada a 100 pacientes con diagnóstico de DM2, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. Los datos se analizaron con estadística descriptiva, Chi-cuadrada y correlación de Spearman mediante SPSS. Los resultados mostraron que el 62% de los participantes fueron mujeres, el 66% hablaba una lengua originaria y el 45% carecía de estudios formales. El 36% utilizó plantas medicinales, y de estos, el 69.4% no informó a su médico. Se encontró una asociación significativa entre el ingreso económico y el abandono de medicamentos ($\chi^2 = 33.97$, $p < .001$, $V = .41$). La asociación entre lengua originaria y uso de plantas medicinales mostró un efecto moderado ($\chi^2 = 5.82$, $p = .054$, $V = .24$). Se concluye que la integración de saberes tradicionales en los modelos de atención primaria es necesaria para fortalecer la adherencia terapéutica y la enfermería comunitaria en contextos interculturales.

Palabras clave: diabetes mellitus tipo 2; saberes locales; medicina tradicional; interculturalidad en salud; enfermería comunitaria

ABSTRACT

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is a critical public health problem in indigenous communities in Mexico, where social determinants, language barriers, and limited healthcare coverage worsen its impact. The objective was to determine the relationship between local knowledge, traditional medicine practices, and the biomedical management of T2DM in highly marginalized communities of the Sierra Norte de Puebla. A quantitative, observational, cross-sectional, and analytical study was conducted at the Community Hospital of Ahuacatlán, Puebla, from January to May 2025. A structured survey was applied to 100 patients diagnosed with T2DM, selected through non-probabilistic convenience sampling. Data were analyzed using descriptive statistics, Chi-square tests, and Spearman correlations through SPSS. Results showed that 62% of participants were women, 66% spoke an indigenous language, and 45% had no formal education. Among respondents, 36% used medicinal plants, and of these, 69.4% did not inform their physician. A significant association was found between economic income and medication abandonment ($\chi^2 = 33.97$, $p < .001$, $V = .41$). The association between indigenous language and medicinal plant use showed a moderate effect ($\chi^2 = 5.82$, $p = .054$, $V = .24$). It is concluded that integrating traditional knowledge into primary care models is necessary to strengthen therapeutic adherence and community nursing in intercultural contexts.

Keywords: type 2 diabetes mellitus; local knowledge; traditional medicine; intercultural health; community nursing

Cómo citar: Domínguez-Cruz, G. (2026). Saberes locales y medicina biomédica en el tratamiento de la diabetes tipo 2 en comunidades indígenas. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 1–5.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. 

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) es una enfermedad metabólica crónica caracterizada por niveles elevados de glucosa en sangre, resultado de la resistencia a la insulina o la secreción insuficiente de esta hormona (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2024). Esta enfermedad puede tener detonantes como el sedentarismo, el sobrepeso, los antecedentes hereditarios y el consumo elevado de alimentos altos en azúcares y grasas. La detección temprana y el seguimiento oportuno pueden disminuir el riesgo de desarrollar complicaciones microvasculares como retinopatía, nefropatía y neuropatía diabética, así como complicaciones macrovasculares como infarto agudo al miocardio y enfermedad arterial periférica (ElSayed et al., 2024).

A nivel mundial, la Federación Internacional de Diabetes (FID) estima que 589 millones de adultos viven con diabetes, cifra que podría alcanzar los 853 millones para 2050 (Genitsaridi et al., 2026). Se calcula que el 43% de los adultos con diabetes no están diagnosticados, y que la enfermedad generó aproximadamente 1.015 billones de dólares en gastos sanitarios en 2024 (Federación Internacional de Diabetes, 2025). Cuatro de cada cinco adultos con diabetes viven en países de ingresos bajos o medios, lo que evidencia que esta enfermedad se encuentra estrechamente vinculada con las desigualdades estructurales.

En México, la DM2 representa más del 95% de los casos de diabetes, con una prevalencia total del 18.3% en la población adulta, donde el 12.6% corresponde a diabetes diagnosticada y el 5.8% a no diagnosticada (Basto-Abreu et al., 2023). La Ensanut Continua 2021–2024 reporta una prevalencia nacional de 17.0%, con variaciones regionales significativas: las regiones Centro y Pacífico-Norte presentan las tasas más altas (21.1% y 20.7% respectivamente), y solo el 33% de los pacientes diagnosticados alcanza control glucémico adecuado (Campos-Nonato et al., 2025). En el estado de Puebla, la Dirección General de Epidemiología (2025) registró 9,367 casos nuevos de DM2, un incremento del 25% respecto al año anterior, con 5,629 casos en mujeres y 3,738 en hombres. Estas cifras resultan especialmente relevantes al interpretarse en conjunto: el incremento del 25% de casos nuevos coincide con un control glucémico deficiente a nivel nacional, lo que sugiere que el problema no radica únicamente en la detección, sino en la capacidad del sistema de salud para sostener la adherencia terapéutica. En contextos locales de alta marginación como la Sierra Norte de Puebla, esta brecha se agrava por factores sociales como la pobreza, el acceso limitado a servicios especializados y las barreras lingüísticas, que dificultan tanto el diagnóstico oportuno como el seguimiento continuo de la enfermedad.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio cuantitativo, observacional, transversal y analítico durante el periodo de enero a mayo de 2025 en el Hospital Comunitario de Ahuacatlán, Puebla, ubicado en la Sierra Norte del estado. El municipio de Ahuacatlán se caracteriza por ser una zona de alta marginación donde convergen dos culturas indígenas principales: náhuatl y totonaca. La población de estudio estuvo conformada por pacientes con diagnóstico confirmado de DM2 que acudían a consulta mensual en dicha unidad de salud.

Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, con los siguientes criterios de inclusión: personas con diagnóstico de DM2 de ambos sexos, entre 50 y 70 años de edad (rango basado en el reporte del Centro Epidemiológico de la Secretaría de Salud, 2024, que identifica estos grupos etarios como los más afectados), que recibieran tratamiento biomédico para el control de la DM2, que fueran pacientes activos del hospital comunitario, con disposición para participar voluntariamente y capacidad para comunicarse en español o en lengua indígena con apoyo de intérprete. Se excluyeron pacientes con enfermedad neurológica o psiquiátrica que impidiera la comunicación o comprensión, quienes no desearan participar y quienes no pertenecieran a la comunidad. La muestra final fue de 100 participantes.

Se diseñó y aplicó una encuesta estructurada con cinco secciones: (I) características sociodemográficas (edad, sexo, escolaridad, ocupación, lugar de residencia, lengua originaria), (II) características clínicas de la DM2 (tiempo de diagnóstico, antecedentes familiares, comorbilidades, tipo de tratamiento, frecuencia de monitoreo glucémico, rango habitual de glucosa, dificultades para el tratamiento), (III) hábitos alimentarios y actividad física (frecuencia de consumo de siete grupos alimentarios en escala de 0 a 7 días por semana, percepción de calidad de dieta, frecuencia de actividad física), (IV) saberes locales y medicina tradicional (uso de plantas medicinales, tipos de preparaciones, comunicación con el médico, eficacia percibida, influencia de creencias religiosas, conocimiento sobre la DM2), y (V) condiciones socioeconómicas (ingreso mensual, apoyo gubernamental, índice de condiciones de vivienda basado en 19 ítems dicotómicos, abandono de compra de medicamentos).

El instrumento fue validado por especialistas en medicina familiar y enfermería comunitaria. Se garantizó la confidencialidad y el anonimato de los participantes mediante un aviso de confidencialidad y consentimiento informado. La participación fue libre y voluntaria, sin riesgos ni beneficios económicos directos, y los datos fueron resguardados conforme a la legislación mexicana en materia de protección de datos personales.

El análisis estadístico se realizó con el software SPSS. Se emplearon estadísticos descriptivos (media, mediana, desviación estándar, frecuencias y porcentajes). Para evaluar asociaciones

entre variables categóricas se utilizó la prueba Chi-cuadrada (χ^2) con el coeficiente V de Cramér como medida de tamaño del efecto. Para las correlaciones entre variables ordinales se empleó el coeficiente de Spearman (rs). Se adoptó un nivel de significancia de $\alpha = .05$.

RESULTADOS

Sección I. Características sociodemográficas

La muestra estuvo conformada por 100 participantes con diagnóstico de DM2 pertenecientes a comunidades de Ahuacatlán, Puebla. El 62% correspondió al sexo femenino ($n = 62$) y el 38% al masculino ($n = 38$). El grupo etario más frecuente fue el de menores de 50 años ($n = 21$, 21%), seguido por el de 70 años o más ($n = 19$, 19%) y el de 50 a 54 años ($n = 18$, 18%). Los grupos de 55 a 59 años ($n = 17$), 60 a 64 años ($n = 14$) y 65 a 69 años ($n = 11$) presentaron frecuencias progresivamente menores.

El perfil sociodemográfico se caracterizó por una marcada vulnerabilidad social: el 76% carecía de estudios formales o solo había cursado primaria, y el 76% se dedicaba a labores del hogar o al trabajo informal, ocupaciones sin seguridad social ni ingreso estable. La mayoría residía en Ahuacatlán (52%). El 66% de los participantes hablaba una lengua originaria, predominando el náhuatl (57%) sobre el totonaco (9%).

Sección II. Características clínicas de la DM2

El tiempo de diagnóstico predominante fue de 1 a 5 años (46%), seguido de menos de 1 año (24%) y de 6 a 10 años (18%). El 71% reportó antecedentes familiares de DM2. Respecto al tratamiento, el 89% recibía tratamiento farmacológico oral, el 7% insulina y el 4% tratamiento combinado.

El 43% de los participantes desconocía su rango habitual de glucosa, lo que constituye un hallazgo relevante sobre el nivel de control metabólico y limitó el análisis de correlaciones posteriores. El 51% reportó monitoreo glucémico mensual, el 24% quincenal y el 13% semanal.

Sección III. Hábitos alimentarios y actividad física

El análisis descriptivo de la frecuencia semanal de consumo de los siete grupos alimentarios evaluados se presenta en la Tabla 1. Los cereales registraron el consumo más frecuente ($M = 5.12$ días por semana), seguidos de las verduras ($M = 4.28$) y las frutas ($M = 3.91$). El consumo de carnes fue el menos frecuente ($M = 2.83$).

Tabla 1

Estadísticos descriptivos de la frecuencia semanal de consumo de grupos alimentarios ($N = 100$)

Grupo alimentario	M	Mdn	DE
Verduras	4.28	4.00	2.14
Frutas	3.91	4.00	2.08
Cereales	5.12	5.00	1.87
Leguminosas	3.46	3.00	1.95
Carnes	2.83	3.00	1.62
Lácteos	3.05	3.00	2.21
Azúcares	2.94	3.00	2.05

Nota. Escala en días por semana (0–7). M = media; Mdn = mediana; DE = desviación estándar.

Respecto a la actividad física, el 47% reportó realizarla de forma ocasional, el 31% nunca y solo el 22% de manera regular. La percepción de calidad de la dieta mostró que el 58% la consideraba regular, el 27% buena y el 15% mala.

Sección IV. Saberes locales y medicina tradicional

El 36% de los participantes reportó el uso de plantas medicinales para el manejo de la DM2. De este grupo, el 69.4% ($n = 25$) no informó a su médico sobre dicho uso, lo que evidencia una brecha comunicativa entre el sistema de salud institucional y las prácticas terapéuticas locales.

La asociación entre lengua originaria y uso de plantas medicinales se presenta en la Tabla 2. Los hablantes de náhuatl mostraron la mayor proporción de uso (45.6%), seguidos por los de totonaco (33.3%) y por quienes no hablan lengua originaria (20.6%).

Tabla 2

Uso de plantas medicinales según lengua originaria ($N = 100$)

Lengua originaria	Usa plantas (n)	No usa plantas (n)	Total
Náhuatl	26 (45.6%)	31 (54.4%)	57
Totonaco	3 (33.3%)	6 (66.7%)	9
No habla lengua originaria	7 (20.6%)	27 (79.4%)	34
Total	36	64	100

Nota. $\chi^2(2, N = 100) = 5.82, p = .054, V = .24$.

Respecto a la eficacia percibida, el 75% ($n = 27$) creyó que las plantas les ayudan a controlar la DM2, el 19.4% ($n = 7$) consideró que ayuda en ocasiones y solo el 5.6% ($n = 2$) señaló que no ayuda. En cuanto al papel de las creencias religiosas, el 33% indicó que influyen en su percepción del padecimiento, el 57% señaló que no y el 10% consideró que en ocasiones. El 68% identificó correctamente la descripción de la enfermedad,

mientras que el 32% seleccionó opciones incorrectas. El 83% indicó conocer las complicaciones de la DM2.

Tabla 3
Pruebas Chi-cuadrada: asociaciones en la sección de saberes locales (N = 100)

Asociación	χ^2	gl	p	V
Lengua originaria × uso de plantas	5.82	2	.054	.24
Escolaridad × conocimiento correcto DM2	5.68	6	.460	.17
Conocimiento DM2 × rango de glucosa	5.38	10	.865	.16

Nota. Ninguna asociación alcanzó significancia estadística ($\alpha = .05$). gl = grados de libertad; V = V de Craméer.

Sección V. Condiciones socioeconómicas

La mayoría de los participantes percibió ingresos mensuales entre \$3,000 y \$5,000 MXN (n = 52, 52%), seguido del estrato superior a \$5,000 (n = 18, 18%). Solo el 15% se ubicó en los dos estratos de ingreso más bajo (hasta \$2,000 MXN). En cuanto al apoyo gubernamental, el 91% recibió algún programa de transferencia monetaria: el 59% del Programa 65+ o Bienestar Adultos Mayores y el 32% del Programa 65 y Más, mientras que el 9% no contó con ningún apoyo.

El 21% de los participantes reportó haber dejado de comprar sus medicamentos en algún momento (14% siempre, 7% algunas veces). La asociación entre ingreso mensual y abandono resultó estadísticamente significativa y de magnitud moderada-alta: $\chi^2(8, N = 100) = 33.97, p < .001, V = .41$. En los dos estratos de ingreso más bajo (hasta \$2,000 MXN), la tasa combinada de abandono alcanzó el 66.7%, mientras que en los estratos superiores descendió progresivamente hasta el 5.6%.

Tabla 4
Abandono de compra de medicamentos según nivel de ingreso (N = 100)

Ingreso mensual	Sí abandonó	No abandonó	Algunas veces	Total
\$1,200–\$1,500	4 (66.7%)	2 (33.3%)	0 (0%)	6
\$1,600–\$2,000	3 (33.3%)	3 (33.3%)	3 (33.3%)	9
\$2,100–\$3,000	3 (20.0%)	11 (73.3%)	1 (6.7%)	15
\$3,000–\$5,000	3 (5.8%)	46 (88.5%)	3 (5.8%)	52
> \$5,000	1 (5.6%)	17 (94.4%)	0 (0%)	18

Nota. $\chi^2(8, N = 100) = 33.97, p < .001, V = .41$.

La asociación entre apoyo gubernamental y abandono de medicamentos también fue significativa: $\chi^2(4, N = 100) = 11.46, p = .022, V = .24$. Los participantes sin ningún apoyo gubernamental (n = 9) presentaron una tasa de abandono del 56%, frente al 12.5% en los beneficiarios de la Pensión para Adultos Mayores. Las condiciones de vivienda se evaluaron mediante un índice sumatorio de 19 ítems dicotómicos que osciló entre 9 y 13 puntos (M = 11.77, DE = 0.91). La universalidad de servicios básicos como agua potable (100%) y luz eléctrica (100%) contrasta con la presencia de cocina con leña en el 61% de los

hogares, piso de tierra en el 10% y techo de cartón en el 2%, lo que refleja una transición tecnológica incompleta. Ni las condiciones de vivienda (rs = $-.025, p = .802$), ni el ingreso mensual, ni el apoyo gubernamental mostraron asociación significativa con el rango habitual de glucosa reportado.

DISCUSIÓN

Los resultados confirman que la DM2 constituye un problema de salud pública de alta complejidad en las comunidades indígenas de la Sierra Norte de Puebla, donde los determinantes sociales, culturales y económicos configuran un panorama de vulnerabilidad diferenciada. La mayor prevalencia en mujeres (62%) es consistente con los reportes de la Dirección General de Epidemiología (2024), que reflejan que la mayor prevalencia de atención de DM2 es en mujeres de primer nivel de atención. Esta mayor proporción de mujeres podría relacionarse tanto con factores biológicos como con determinantes sociales de género; sin embargo, dado el diseño del presente estudio, estas explicaciones deben considerarse hipótesis y no conclusiones derivadas de los datos.

El hallazgo de que el 36% de los participantes utiliza plantas medicinales y que el 69.4% de ellos no lo informa a su médico constituye el resultado más relevante desde la perspectiva de la atención intercultural. Esta brecha comunicativa no representa un rechazo al sistema biomédico, sino una adaptación pragmática ante un modelo de atención que históricamente ha desestimado los saberes locales. La asociación entre lengua originaria y uso de plantas medicinales, aunque no alcanzó significancia estadística convencional (p = $.054$), mostró un tamaño de efecto moderado (V = $.24$) que sugiere una tendencia digna de exploración en estudios con muestras mayores.

La asociación significativa entre ingreso económico y abandono de medicamentos (V = $.41$) confirma que las barreras estructurales pesan más que las culturales en el control de la enfermedad. El 66.7% de abandono en los estratos de ingreso más bajo, frente al 5.6% en los superiores, evidencia que el problema no radica en la voluntad del paciente sino en su capacidad económica. Este hallazgo cuestiona los enfoques que atribuyen la falta de adherencia terapéutica a factores individuales o culturales.

El 43% de participantes que desconoce su rango habitual de glucosa representa una limitación metodológica relevante que impidió establecer correlaciones robustas con las variables socioeconómicas. Sin embargo, este desconocimiento constituye en sí mismo un hallazgo: si casi la mitad de los pacientes con diagnóstico confirmado no conoce sus niveles de glucosa, el seguimiento clínico presenta deficiencias que trascienden la responsabilidad individual.

CONCLUSIONES

El estudio documenta un pluralismo médico activo en las comunidades indígenas de Ahuacatlán, donde el uso de plantas medicinales coexiste con el tratamiento biomédico sin que exista comunicación entre ambos sistemas. Esta coexistencia silenciosa representa tanto un riesgo (por posibles interacciones farmacológicas no detectadas) como una oportunidad (por el potencial de construir modelos de atención culturalmente pertinentes).

Los determinantes económicos mostraron mayor peso que los culturales en el abandono del tratamiento, lo que sugiere que las intervenciones dirigidas a mejorar la adherencia terapéutica deben priorizar el acceso material a los medicamentos antes que la modificación de creencias. La enfermería comunitaria, por su

cercanía con las comunidades y su formación en el cuidado integral, se encuentra en una posición estratégica para tender puentes entre ambos sistemas de conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal del Hospital Comunitario de Ahuacatlán por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo de campo, y de manera especial a las y los participantes que compartieron su tiempo y su experiencia con esta investigación.

CUMPLIMIENTO EDITORIAL

La autora declara que el presente manuscrito es original e inédito, que no ha sido enviado simultáneamente a otra publicación y que no existe conflicto de intereses en relación con esta investigación.

REFERENCIAS

- Bañuelos Flores, N., Haro Encinas, J. A., & Sandoval Godoy, S. A. (2022). Prácticas terapéuticas para la diabetes mellitus tipo 2 en comunidades yoreme/mayo de Sonora, México. *Región y Sociedad*, 34, e1583. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1583>
- Basto-Abreu, A., López-Olmedo, N., Rojas-Martínez, R., Aguilar-Salinas, C. A., Moreno-Banda, G. L., Carnalla, M., Rivera, J. A., Romero-Martínez, M., Barquera, S., & Barrientos-Gutiérrez, T. (2023). Prevalencia de prediabetes y diabetes en México: Ensanut 2022. *Salud Pública de México*, 65(supl 1), s163–s168. <https://doi.org/10.21149/14832>
- Buichía-Sombra, F. G., Miranda-Félix, P. E., & Guerra-Ochoa, C. E. (2020). Determinantes sociales de la salud y su relación con el control glucémico en adultos con diabetes tipo 2. *SANUS*, 5(16), 1–13. <https://doi.org/10.36789/sanus.vi16.174>
- Campos-Nonato, I., Oviedo-Solís, C., Vargas-Meza, J., Nieto, C., Hernández-Barrera, L., Barquera, S., & Rivera-Dommarco, J. (2025). Prevalencia de diabetes en adultos mexicanos: Ensanut Continua 2021–2024. *Salud Pública de México*, 67(2), 121–130. <https://doi.org/10.21149/16135>
- Dirección General de Epidemiología. (2025). Anuario de morbilidad 2024. Secretaría de Salud, Gobierno de México. <https://epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/index.html>
- ElSayed, N. A., Aleppo, G., Bannuru, R. R., Bruemmer, D., Collins, B. S., Ekhlaspour, L., Gaglia, J. L., Hilliard, M. E., Johnson, E. L., Khunti, K., Lingvay, I., Matfin, G., McCoy, R. G., Perry, M. L., Pilla, S. J., Polsky, S., Prahalad, P., Pratley, R. E., Segal, A. R., ... Gabbay, R. A. (2024). Standards of care in diabetes—2024. *Diabetes Care*, 47(supl 1), S1–S321. <https://doi.org/10.2337/dc24-Sint>
- Federación Internacional de Diabetes. (2025). IDF Diabetes Atlas 2025 (11.ª ed.). <https://diabetesatlas.org/>
- Genitsaridi, I., Ogurtsova, K., Karuranga, S., Magliano, D. J., Boyko, E. J., & Sun, H. (2026). Global, regional, and national burden of diabetes in adults: Estimates and projections from the IDF Diabetes Atlas, 11th edition. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 14(1), 12–24. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(25\)00301-4](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(25)00301-4)
- Llagua Sillo, M. C., & Jiménez Ayala, T. M. (2023). Conocimiento sobre fitoterapia en pacientes diabéticos. *Revista Científica Higía de la Salud*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.37117/higia.v8i1.784>
- López Nicolás, A., Ortiz Mejía, C. A., & Vásquez Aquino, J. E. (2023). Uso de plantas medicinales en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. *Revista Científica de Ciencias de la Salud*, 5(2), 45–56.
- Menéndez, E. L. (2023). Modelo médico hegemónico: tendencias posibles y tendencias más o menos imaginarias. *Salud Colectiva*, 19, e4386. <https://doi.org/10.18294/sc.2023.4386>
- Organización Mundial de la Salud. (2024). Diabetes. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- Organización Mundial de la Salud. (2025). WHO traditional medicine strategy 2025–2034. <https://www.who.int/publications/item/9789240104198>
- Organización Panamericana de la Salud. (2023). Salud de los pueblos indígenas. <https://www.paho.org/es/temas/salud-pueblos-indigenas>
- Sriraman, S., Sreejith, D., & Andrade, C. (2024). Herb–drug interactions in patients with diabetes mellitus: A systematic review. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 15(3), 100921. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2024.100921>



ARTÍCULO ORIGINAL · CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TERRITORIAL

Evaluación experimental de reconocimiento facial ligero para control de asistencia en entornos educativos rurales

Maribel Hernández-Solís¹, Edison Milton Balvín-Sánchez^{1*}

¹ Licenciatura en Ingeniería en Tecnología Informática, Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA), Puebla, México

* Autor(a) por correspondencia: edison.balvin@uiepa.edu.mx · ORCID: 0009-0006-5307-6342

RESUMEN

Este estudio evalúa experimentalmente un sistema web de control de asistencia basado en reconocimiento facial desarrollado mediante tecnologías ligeras basadas en face-api.js. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y experimental-computacional en un contexto educativo rural con infraestructura tecnológica limitada. La evaluación incluyó 30 participantes y 150 intentos de reconocimiento facial bajo distintas condiciones de iluminación y orientación facial. Los resultados mostraron una precisión del 100% en condiciones controladas de captura frontal, sin falsos positivos ni falsos negativos. No obstante, bajo variaciones de orientación e iluminación el desempeño disminuyó a 71.7% y 78.9%, respectivamente, observándose diferencias estadísticamente significativas respecto al escenario controlado ($p < 0.001$). En comparación con el método manual, el sistema automatizado redujo aproximadamente un 97.3% el tiempo requerido para el registro de asistencia. Los hallazgos evidencian la viabilidad de implementar sistemas biométricos ligeros para automatizar procesos administrativos en instituciones educativas con recursos tecnológicos limitados.

Palabras clave: reconocimiento facial, biometría, control de asistencia, visión por computadora, entorno rural

ABSTRACT

This study experimentally evaluates a web-based attendance control system using facial recognition, developed with lightweight technologies through face-api.js. The research was conducted under a quantitative and computational-experimental approach in a rural educational context with limited technological infrastructure. The evaluation involved 30 participants and 150 facial recognition attempts under different lighting and facial orientation conditions. Results showed 100% accuracy under controlled frontal capture conditions, with no false positives or false negatives recorded. However, under orientation and lighting variations, performance decreased to 71.7% and 78.9%, respectively, with statistically significant differences compared to the controlled scenario ($p < 0.001$). Compared to the manual method, the automated system reduced the time required for attendance registration by approximately 97.3%. These findings demonstrate the feasibility of implementing lightweight biometric systems to automate administrative processes in educational institutions with limited technological resources.

Keywords: facial recognition, biometrics, attendance control, computer vision, rural environments

Cómo citar: Hernández-Solís, M. & Balvín-Sánchez, E. (2026). Evaluación experimental de reconocimiento facial ligero para control de asistencia en entornos educativos rurales. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 6–15.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. **CC BY-NC 4.0**

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la incorporación de tecnologías digitales en los procesos administrativos se ha convertido en una necesidad para mejorar la eficiencia, precisión y confiabilidad en diferentes

entornos institucionales. Diversos estudios señalan que la transformación digital y la automatización permiten optimizar actividades operativas y mejorar la gestión de la información dentro de las organizaciones (Verhoef et al., 2021). Al sustituir procedimientos manuales por herramientas tecnológicas, se

reducen errores derivados de la intervención humana y se favorece una administración más segura y eficiente de los datos.

Uno de los procesos que aún presenta limitaciones en instituciones educativas es el control de asistencia. En muchos casos, este procedimiento continúa realizándose mediante listas impresas, registros manuales o tarjetas de identificación, lo que puede generar pérdida de tiempo, errores de captura e irregularidades en la validación de la asistencia. Diversas investigaciones han reportado que los métodos tradicionales de registro presentan limitaciones relacionadas con eficiencia operativa, confiabilidad y trazabilidad de la información en entornos educativos y administrativos (Rahman et al., 2020; Khan et al., 2021).

Además de verificar la presencia de los estudiantes, los registros de asistencia constituyen una fuente de información relevante para el seguimiento académico, la detección temprana del abandono escolar, la evaluación de la permanencia estudiantil y diversos procesos administrativos institucionales relacionados con la gestión educativa y la toma de decisiones.

Ante esta problemática, la biometría representa una alternativa tecnológica orientada a la identificación precisa de individuos mediante características físicas únicas (Jain et al., 2004). Entre sus aplicaciones más utilizadas se encuentra el reconocimiento facial, el cual permite identificar personas a partir del análisis de rasgos faciales mediante técnicas de inteligencia artificial y procesamiento de imágenes. Estudios recientes han señalado que las tecnologías de reconocimiento facial contribuyen a fortalecer la seguridad y reducir riesgos de suplantación de identidad en sistemas automatizados (Parkhi et al., 2015; Deng et al., 2019).

Sin embargo, son limitados los estudios enfocados en evaluar sistemas biométricos ligeros ejecutados directamente en navegador dentro de contextos educativos con infraestructura tecnológica restringida. En particular, existe poca evidencia experimental sobre el desempeño de este tipo de soluciones bajo condiciones variables de iluminación y orientación facial en entornos rurales. Además, gran parte de las investigaciones reportadas requieren infraestructura computacional especializada, procesamiento en la nube o dependencia de GPU dedicadas, lo que dificulta su implementación en instituciones públicas con recursos tecnológicos limitados.

Adicionalmente, muchos sistemas de reconocimiento facial reportados en la literatura dependen del procesamiento en la nube, servidores dedicados o hardware especializado, lo que incrementa los costos de implementación y puede introducir limitaciones relacionadas con latencia, privacidad y disponibilidad del servicio.

Con base en lo anterior, se seleccionó face-api.js como tecnología principal de reconocimiento biométrico debido a su naturaleza liviana, facilidad de integración y amplio uso en soluciones de software donde los recursos computacionales son

limitados (Warman & Kusuma, 2023). La librería emplea redes neuronales convolucionales para la detección y comparación de patrones faciales, permitiendo su ejecución directamente en el navegador sin requerir infraestructura especializada ni servicios en la nube (Shi et al., 2016).

Por esta razón, este trabajo busca aportar evidencia experimental concreta sobre qué tan viable es usar este tipo de sistemas en una institución pública rural de México, donde la infraestructura tecnológica es limitada y las condiciones de captura no siempre son ideales.

El principal aporte del presente estudio consiste en evaluar la viabilidad de un sistema de reconocimiento facial ligero ejecutado completamente en el navegador mediante procesamiento local, sin requerir infraestructura especializada ni servicios externos de cómputo. Asimismo, el trabajo proporciona evidencia experimental obtenida en un contexto educativo rural mexicano, un escenario poco representado en la literatura especializada.

A diferencia de las soluciones comerciales de reconocimiento facial disponibles en el mercado, que suelen requerir el pago de licencias, infraestructura dedicada o procesamiento en la nube, el sistema propuesto se desarrolló con tecnologías de código abierto y procesamiento local, lo que lo convierte en una alternativa viable para instituciones educativas públicas con presupuestos limitados.

Finalmente, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad de un sistema automatizado de control de asistencia basado en reconocimiento facial utilizando tecnologías ligeras ejecutadas localmente en navegador dentro de contextos educativos con infraestructura tecnológica limitada.

Para alcanzar este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar un sistema web de control de asistencia basado en reconocimiento facial.
- Evaluar la precisión del reconocimiento bajo diferentes condiciones de iluminación y orientación facial.
- Comparar el tiempo requerido para el registro manual y automatizado de asistencia.
- Analizar la viabilidad del sistema en contextos educativos rurales con infraestructura tecnológica limitada.

2. METODOLOGÍA

2.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicado y experimental-computacional, debido a que estuvo orientada al diseño, implementación y evaluación de un sistema automatizado de control de asistencia mediante recono-

cimiento facial e inteligencia artificial. El enfoque cuantitativo permitió evaluar el desempeño de la plataforma mediante métricas objetivas, como la precisión del reconocimiento facial, los tiempos de respuesta y la exactitud en los registros de asistencia generados por el sistema, permitiendo la medición y análisis estadístico de los resultados obtenidos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

El estudio presentó un carácter tecnológico y de desarrollo, ya que se centró en la construcción de una herramienta informática orientada a resolver problemáticas relacionadas con los métodos tradicionales de control de asistencia. Asimismo, el componente experimental-computacional permitió evaluar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones operativas, considerando variables relacionadas con iluminación, posiciones faciales y rendimiento del reconocimiento biométrico.

2.2 Muestra experimental

El estudio se desarrolló en la Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA), ubicada en la región Sierra Norte del estado de Puebla, México. Esta institución forma parte de una zona caracterizada por condiciones socioeconómicas y tecnológicas limitadas, donde predominan comunidades rurales e indígenas pertenecientes principalmente a las culturas náhuatl y totonaca.

De acuerdo con Balvín-Sánchez et al. (2026), las instituciones educativas rurales de la Sierra Norte de Puebla enfrentan limitaciones relacionadas con conectividad, acceso tecnológico y disponibilidad de recursos digitales, lo que impacta directamente en la incorporación de tecnologías computacionales. En este sentido, dicho contexto representa un escenario pertinente para evaluar la viabilidad de sistemas automatizados basados en inteligencia artificial y reconocimiento facial.

La población objetivo estuvo conformada por aproximadamente 800 estudiantes pertenecientes a la Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán. Sin embargo, para la fase experimental se seleccionó una muestra no probabilística de 30 participantes, considerada adecuada para una evaluación experimental inicial de funcionamiento, precisión y desempeño del sistema de reconocimiento facial.

La selección de esta muestra permitió evaluar el comportamiento del sistema en condiciones reales de operación, manteniendo viabilidad técnica y control experimental durante las pruebas.

La muestra empleada resulta consistente con estudios previos de validación funcional de sistemas de reconocimiento facial para el control de asistencia en aulas, que han trabajado con grupos de entre 15 y 22 estudiantes (Benavides Pérez et al., 2016), y responde al carácter de evaluación experimental inicial del presente trabajo, cuyo objetivo es verificar la viabilidad técnica del sistema y no la generalización estadística de los resultados.

Cada participante realizó múltiples intentos de reconocimiento facial bajo diferentes condiciones de iluminación y orientación facial, permitiendo generar un conjunto de pruebas orientadas a evaluar la estabilidad, precisión y capacidad de respuesta del sistema biométrico en escenarios variables de captura.

2.3 Fase de análisis y levantamiento de requerimientos

En esta etapa se realizó el levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales del sistema con el propósito de identificar las necesidades operativas de los usuarios. Durante este proceso se analizaron las funcionalidades necesarias, restricciones técnicas y características del entorno de trabajo para garantizar un adecuado desempeño del sistema. De acuerdo con Umar y Lano (2024), la correcta especificación de requerimientos constituye una etapa fundamental en el desarrollo de software, ya que permite definir de manera precisa las funcionalidades, restricciones y objetivos que debe cumplir la aplicación para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Durante el análisis se consideraron aspectos relacionados con el registro de información personal, control de horarios y administración de asistencias. Un punto crítico fue la velocidad de respuesta del reconocimiento facial, ya que los sistemas biométricos requieren un procesamiento eficiente de imágenes para garantizar un reconocimiento preciso y en tiempo real dentro de entornos con múltiples usuarios (Alobaidy et al., 2024).

A partir de esta recopilación de información se definieron las funcionalidades principales del sistema y los niveles de acceso. Asimismo, se establecieron las características necesarias para garantizar un funcionamiento estable dentro del entorno institucional, integrando protocolos de seguridad para la protección de plantillas faciales. Diversos estudios señalan que la seguridad de la información y la integridad de los datos representan elementos fundamentales en el desarrollo de sistemas tecnológicos orientados a la gestión y almacenamiento de información sensible (Ochoa & López, 2024).

2.4 Fase de diseño del sistema

Posteriormente, se diseñó la arquitectura del sistema utilizando un modelo cliente-servidor, permitiendo separar el procesamiento de datos, la lógica del sistema y la interacción con el usuario. Este tipo de arquitectura facilita la organización y distribución de las funciones dentro de aplicaciones web modernas, favoreciendo la escalabilidad y mantenimiento del software (Maldonado Córdova et al., 2022).

Para el desarrollo del backend se empleó PHP como lenguaje principal de programación, mientras que MySQL fue utilizado para la gestión y almacenamiento de la base de datos relacional.

En el desarrollo de la interfaz gráfica se utilizaron HTML5, CSS3, JavaScript y Bootstrap 5, permitiendo construir una plataforma dinámica e interactiva para la captura y administración de información. La arquitectura de la información en entornos web permite estructurar y organizar adecuadamente los sistemas digitales para mejorar la experiencia del usuario y facilitar la recuperación de información (Pérez-Montoro, 2010).

Asimismo, se definieron módulos específicos para la gestión de usuarios, control de asistencias, administración de horarios y validación biométrica. Diversos estudios destacan que las redes neuronales artificiales y el reconocimiento facial permiten automatizar procesos de control de acceso de manera rápida y eficiente dentro de entornos organizacionales (Ibarra-Estévez & Paredes, 2018).

2.5 Fase de implementación

Durante la fase de implementación se integró un módulo de reconocimiento facial mediante la librería face-api.js, basada en técnicas de inteligencia artificial, visión por computadora y aprendizaje profundo (deep learning). Esta herramienta utiliza modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) para la detección, extracción y comparación de características biométricas faciales, permitiendo automatizar procesos de identificación y autenticación en tiempo real (Adjabi et al., 2020).

Durante la fase de enrolamiento biométrico, cada participante registró inicialmente una imagen frontal del rostro bajo condiciones controladas de captura. A partir de esta imagen se generó el descriptor facial utilizado posteriormente durante las pruebas de reconocimiento automático.

Para la detección facial se empleó el modelo TinyFaceDetector incluido en face-api.js, mientras que la generación de descriptores biométricos se realizó mediante FaceRecognitionNet. Los vectores obtenidos fueron comparados utilizando el mecanismo FaceMatcher proporcionado por la biblioteca.

El sistema permitió generar vectores numéricos a partir de patrones faciales obtenidos mediante la cámara del dispositivo, posibilitando la validación biométrica de los usuarios a través de procesos de comparación matemática entre los registros almacenados y los patrones detectados. Los sistemas modernos de reconocimiento facial representan matemáticamente las características biométricas mediante vectores numéricos de alta dimensionalidad, permitiendo realizar comparaciones eficientes entre individuos (Deng et al., 2019; Parkhi et al., 2015).

El procesamiento facial fue ejecutado directamente en el navegador del usuario, permitiendo reducir tiempos de respuesta y evitar el almacenamiento de fotografías originales. Este enfoque de procesamiento en el cliente (Edge Computing) favorece la eficiencia operativa y mejora la privacidad de los datos dentro de sistemas orientados al procesamiento en tiempo

real (Shi et al., 2016). Para el desarrollo y pruebas locales de la plataforma se utilizó XAMPP como entorno de servidor.

Además, para la organización del desarrollo del software se tomaron como referencia principios de la metodología ágil Scrum, adaptados a un ciclo de implementación incremental y validación continua de funcionalidades. La aplicación de marcos de trabajo ágiles en entornos académicos y profesionales permite una gestión adaptativa que favorece la organización del proceso de desarrollo y la adaptación continua de funcionalidades y la satisfacción de los requisitos del usuario (Schwaber & Sutherland, 2020).

2.6 Fase de funcionamiento del sistema

El flujo de funcionamiento del sistema inició con la activación de la cámara web y la detección automática del rostro del usuario. Posteriormente, el sistema realizó la extracción de características faciales representadas mediante vectores numéricos. Esta etapa es crítica, ya que la precisión del sistema depende de la capacidad del algoritmo para transformar la información visual en una representación matemática compacta y discriminativa (Deng et al., 2019).

Una vez realizada la comparación matemática con los registros almacenados en la base de datos, el sistema verificó la coincidencia facial y procedió al registro automático de la asistencia. Para asegurar la integridad de estos registros, es fundamental emplear arquitecturas de bases de datos que soporten la concurrencia y garanticen la persistencia de la información en tiempo real (Elmasri & Navathe, 2021). Finalmente, la plataforma generó una notificación visual confirmando el registro. Con el propósito de ilustrar el funcionamiento de la plataforma desarrollada, las Figuras 1 a 4 presentan las principales interfaces del sistema, incluyendo el inicio de sesión, la captura biométrica y el proceso de autenticación.

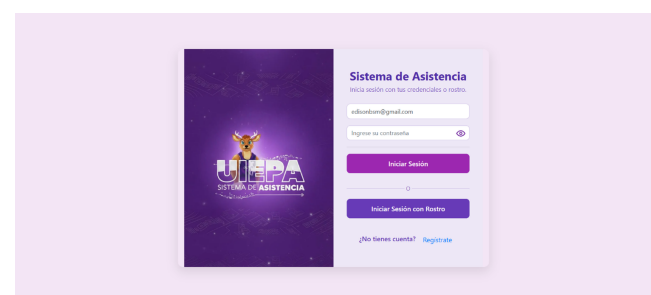


Figura 1
Pantalla principal de inicio de sesión del sistema.

Nota. Elaboración propia (2026).

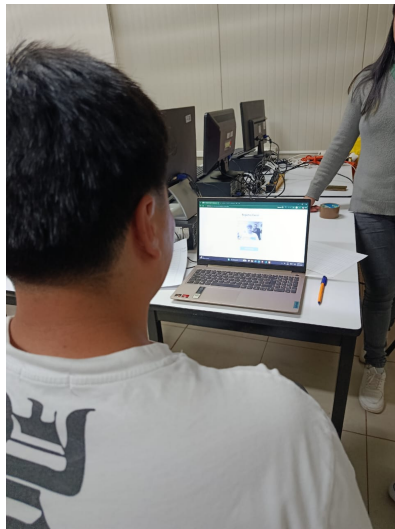


Figura 2
Captura biométrica durante el reconocimiento facial.
Nota. Elaboración propia (2026).

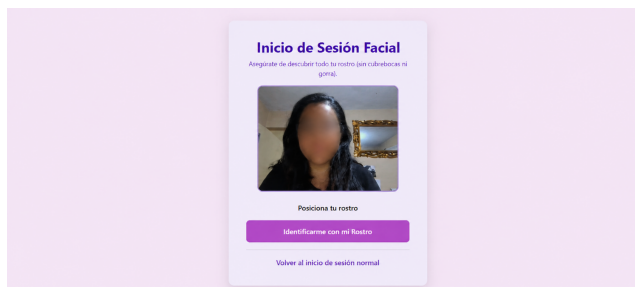


Figura 3
Proceso de autenticación mediante reconocimiento facial.
Nota. Elaboración propia (2026).

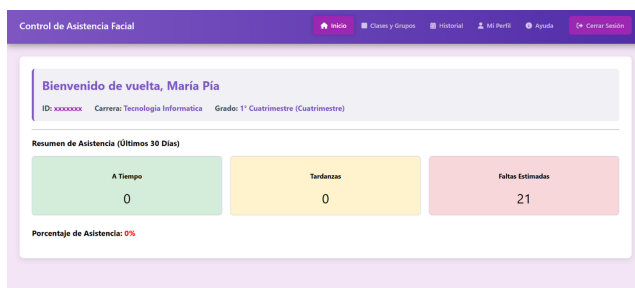


Figura 4
Historial de asistencias registradas.
Nota. Elaboración propia (2026).

2.7 Fase de validación y pruebas

Para evaluar el funcionamiento de la plataforma se trabajó con los 30 participantes seleccionados. En una primera etapa, cada usuario realizó cinco intentos de reconocimiento facial con el rostro frente a la cámara y bajo una iluminación estable. Con estas pruebas se obtuvo un conjunto inicial de 150 registros, utilizado como referencia para medir la precisión del sistema. Las condiciones controladas consideradas durante esta fase correspondieron a captura frontal del rostro, iluminación uniforme en interiores, distancia aproximada de 50 a 70 cm respecto a la cámara y ausencia de elementos que obstruyeran parcialmente el rostro. Después de esta evaluación, se hicieron

pruebas adicionales cambiando la posición del rostro y las condiciones de iluminación, con la finalidad de observar el comportamiento del reconocimiento biométrico en situaciones más cercanas a su aplicación cotidiana.

Las métricas de evaluación consideraron el porcentaje de precisión, los falsos positivos, los falsos negativos y el tiempo de respuesta durante la detección y validación biométrica. También se tomaron en cuenta las variaciones de iluminación, ya que en sistemas de visión artificial estos cambios pueden afectar la calidad de la captura y, con ello, el reconocimiento facial en tiempo real. Este aspecto es relevante en instituciones mexicanas donde las condiciones ambientales no siempre pueden controlarse durante el uso del sistema (Acevedo-Ávila et al., 2020).

Para el análisis estadístico se emplearon medidas descriptivas como porcentajes de precisión, medias y desviaciones estándar. Con el fin de determinar si existían diferencias significativas en el desempeño del sistema según la orientación facial, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para comparar los tiempos de registro entre el método manual y el sistema automatizado se utilizó la prueba t de Student para muestras pareadas. El procesamiento estadístico se llevó a cabo en Python mediante las bibliotecas NumPy, Pandas y SciPy.

Adicionalmente, se comparó el tiempo requerido para registrar asistencia mediante el método tradicional y el sistema desarrollado, con el objetivo de determinar la reducción del tiempo operativo obtenida al sustituir un procedimiento manual por un proceso automatizado de reconocimiento facial.

La investigación siguió lo establecido en la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares (LFPDPPP, 2010). Antes de realizar las pruebas, los participantes recibieron información sobre el propósito del estudio y aceptaron colaborar de forma voluntaria. Las capturas obtenidas durante la evaluación únicamente se emplearon para comprobar el funcionamiento del sistema; no se almacenaron fotografías de los usuarios. La plataforma trabajó con descriptores biométricos generados por face-api.js. Al concluir la evaluación, los registros utilizados durante las pruebas se eliminaron de la base de datos. La Tabla 1 resume los principales parámetros experimentales y las condiciones empleadas durante la evaluación del sistema de reconocimiento facial.

Tabla 1
Configuración experimental utilizada durante la evaluación del sistema de reconocimiento facial

Parámetro	Valor
Participantes	30
Intentos controlados	150
Distancia cámara	50–70 cm
Captura	Frontal
Navegador	Google Chrome
Librería	face-api.js
Procesamiento	Local en navegador

Nota. Se presentan los principales parámetros y condiciones utilizados durante la evaluación experimental. Elaboración propia (2026).

3. RESULTADOS

3.1 Evaluación del reconocimiento facial con variación de ángulos

Los mismos participantes de la evaluación inicial realizaron pruebas adicionales cambiando la orientación del rostro frente a la cámara. Durante estas pruebas se consideraron diferentes posiciones faciales para observar si el sistema mantenía un reconocimiento adecuado cuando las condiciones de captura no eran completamente controladas.

En condiciones frontales controladas, el sistema alcanzó una precisión del 100%, obteniendo 150 reconocimientos correctos en 150 intentos evaluados. El intervalo de confianza al 95% (IC95%) para la precisión se ubicó entre 97.5% y 100%, lo que respalda la confiabilidad del sistema bajo las condiciones experimentales establecidas.

Al incorporar variaciones en la orientación facial, el desempeño presentó una disminución. La precisión general obtenida fue de 71.7%, observándose el mejor desempeño en la posición frontal y menores niveles de reconocimiento en posiciones laterales e inclinadas, particularmente en el ángulo derecho. La Figura 5 presenta la precisión obtenida para cada una de las orientaciones faciales evaluadas.

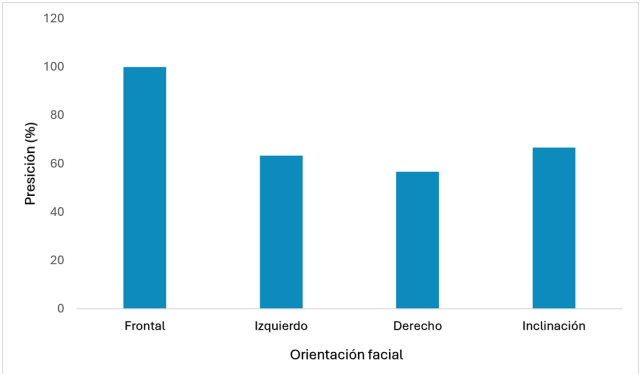


Figura 5
Precisión del sistema según ángulo de inclinación del rostro.

Nota. Precisión del sistema bajo distintas orientaciones faciales, evaluada en 150 intentos. Elaboración propia (2026).

Con el propósito de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las distintas orientaciones faciales evaluadas, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas en el desempeño del sistema según la posición facial evaluada ($H = 16.44$; $p < 0.001$), indicando que la orientación del rostro influye de manera significativa en la precisión del reconocimiento facial.

Los resultados muestran que el modelo presenta mayor estabilidad en capturas faciales frontales. No obstante, el sistema mantuvo un desempeño funcional en condiciones con variaciones de orientación, lo que evidencia su viabilidad para escenarios reales de asistencia escolar o institucional.

Además, los resultados permiten identificar oportunidades de mejora relacionadas con el entrenamiento del modelo utilizando conjuntos de datos con mayor diversidad angular y diferentes condiciones de captura, con el propósito de incrementar la robustez del reconocimiento facial en futuros trabajos.

3.2 Evaluación del reconocimiento facial bajo distintas condiciones de iluminación

Con el objetivo de analizar la robustez del sistema ante variaciones lumínicas, se realizaron pruebas con 30 usuarios en tres condiciones: iluminación alta, media y baja.

Los resultados obtenidos muestran una precisión general del 78.9%. El sistema alcanzó un desempeño óptimo en condiciones de iluminación alta y baja, obteniendo un 100% de reconocimiento en ambos escenarios. Sin embargo, en condiciones de iluminación media se observó una disminución significativa del rendimiento, alcanzando únicamente un 36.7% de precisión. La Figura 6 muestra el comportamiento del sistema bajo las diferentes condiciones de iluminación consideradas durante el estudio.

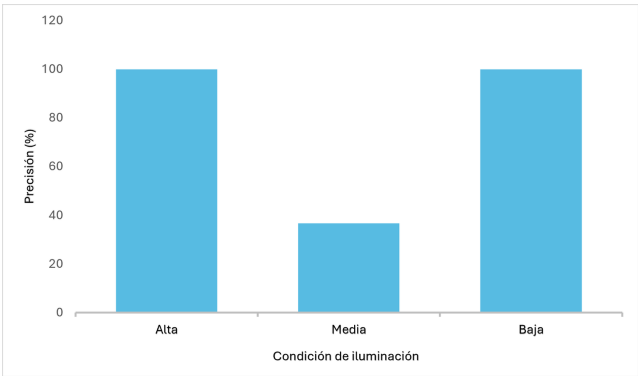


Figura 6
Precisión del reconocimiento facial bajo distintas condiciones de iluminación.
Nota. Evaluación del sistema bajo condiciones de iluminación alta, media y baja. Elaboración propia (2026).

Los resultados obtenidos evidencian que el desempeño del sistema no depende exclusivamente de la intensidad lumínica, sino también de factores asociados al contraste facial, la presencia de sombras y la calidad de la imagen capturada por el sensor. Una posible explicación podría estar relacionada con mecanismos automáticos de exposición y balance de blancos implementados por la cámara utilizada; sin embargo, esta hipótesis no fue evaluada experimentalmente y requiere validación adicional en estudios posteriores. Estos hallazgos sugieren que la robustez del reconocimiento facial depende tanto de las condiciones de iluminación como de las características del dispositivo de captura empleado.

Este comportamiento sugiere que las variaciones ambientales influyen directamente en la estabilidad del sistema, especialmente en escenarios no controlados. Asimismo, los resultados evidencian la necesidad de incorporar técnicas de normalización lumínica y entrenamiento con condiciones variables para mejorar la robustez del reconocimiento facial en entornos reales.

3.3 Precisión del reconocimiento facial en condiciones controladas

A diferencia de las evaluaciones realizadas bajo variaciones de ángulo e iluminación, esta sección presenta los resultados obtenidos específicamente en condiciones controladas de captura, es decir, con los participantes en posición frontal y bajo iluminación favorable. Bajo estas condiciones, el sistema alcanzó una precisión del 100%, sin registrar falsos positivos ni falsos negativos en los 150 intentos realizados durante el escenario controlado de evaluación (Tabla 2).

Tabla 2
Resultados del sistema de reconocimiento facial bajo condiciones controladas de captura

Métrica	Resultado
Usuarios evaluados	30
Intentos realizados	150
Reconocimientos correctos	150
Falsos positivos	0
Falsos negativos	0
Precisión global	100%

Nota. Elaboración propia (2026).

Asimismo, el tiempo de reconocimiento osciló entre 0 y 2.8 segundos, observándose tiempos inferiores a un segundo en la mayoría de los intentos, lo que evidencia una respuesta rápida y estable del sistema. Estos tiempos permiten considerar al sistema como viable para procesos automatizados de asistencia en tiempo real dentro de entornos educativos.

La ausencia de falsos positivos y falsos negativos durante las pruebas controladas sugiere que el modelo utilizado posee una adecuada capacidad discriminativa en escenarios homogéneos de captura. No obstante, las evaluaciones realizadas con variaciones de iluminación y orientación facial evidenciaron disminuciones en el desempeño del modelo en escenarios menos controlados.

Lo anterior indica que el desempeño del sistema se encuentra influenciado por las condiciones de captura, particularmente por la orientación facial y las variaciones lumínicas presentes durante la adquisición de imágenes.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que el sistema presentó un desempeño favorable en ambientes controlados, alcanzando altos niveles de precisión y tiempos de respuesta adecuados para procesos de asistencia automatizada en tiempo real.

3.4 Comparación entre registro manual y sistema automatizado

Con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema propuesto, se comparó el tiempo requerido para registrar asistencia mediante el método tradicional manual y mediante el sistema automatizado basado en reconocimiento facial. Las pruebas fueron realizadas con 30 registros correspondientes a estudiantes de la asignatura de Álgebra. La Tabla 3 resume los tiempos promedio obtenidos para ambos procedimientos de registro de asistencia.

Tabla 3
Comparación de tiempos entre el método manual y el sistema basado en IA

Método	Media	Desviación estándar
Manual	29.93	5.62
IA	0.78	0.58

Nota. Elaboración propia (2026).

La estadística descriptiva mostró diferencias considerables entre ambos métodos. El registro manual presentó un tiempo promedio de 29.93 segundos con una desviación estándar de 5.62, mientras que el sistema basado en inteligencia artificial obtuvo una media de 0.78 segundos y una desviación estándar de 0.58. Asimismo, el reconocimiento facial se ejecutó en menos de un segundo en la mayoría de los casos, evidenciando rapidez y estabilidad operativa durante las pruebas realizadas.

La prueba t de Student para muestras pareadas evidenció diferencias estadísticamente significativas entre el método manual y el sistema automatizado ($t = 28.112$, $p < 0.001$). Los resultados indican que el sistema reduce significativamente el tiempo requerido para el registro de asistencia, alcanzando una disminución aproximada del 97.3% respecto al procedimiento manual.

En términos generales, el sistema propuesto representa una alternativa eficiente para optimizar procesos administrativos en instituciones educativas, reduciendo tiempos operativos y minimizando la intervención manual durante el inicio de las sesiones académicas.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema basado en reconocimiento facial alcanzó una precisión del 100% bajo

condiciones controladas. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Jain et al. (2004), quienes destacan la alta precisión y confiabilidad de los sistemas biométricos frente a métodos tradicionales de identificación.

En concordancia con los resultados obtenidos, Heredia Villacís y Donoso Palomeque (2024) desarrollaron un sistema de registro de asistencia estudiantil mediante reconocimiento facial en tiempo real utilizando Raspberry Pi y Python, concluyendo que la automatización del proceso mejora la rapidez y confiabilidad del control de asistencia académica.

De manera similar, en la presente investigación se observó que el sistema automatizado redujo significativamente el tiempo promedio de registro en comparación con el método manual tradicional, permitiendo realizar el reconocimiento en menos de un segundo en la mayoría de los casos.

De igual forma, Cardozo Servián y Macen Rojas (2023) reportaron que el uso de reconocimiento biométrico facial en instituciones educativas contribuye a optimizar recursos administrativos y disminuir errores asociados con registros manuales. Los hallazgos de la presente investigación coinciden con dicho planteamiento, debido a que el sistema propuesto permitió automatizar el proceso de asistencia, reduciendo tiempos operativos y minimizando la intervención manual del docente durante el registro de estudiantes. Con el propósito de contextualizar el desempeño obtenido, la Tabla 4 presenta una comparación entre el sistema desarrollado y algunos estudios representativos reportados previamente para aplicaciones de control de asistencia mediante reconocimiento facial.

Tabla 4
Comparación entre sistemas de reconocimiento facial utilizados para control de asistencia

Estudio	Desempeño reportado	Infraestructura requerida	Procesamiento
Warman y Kusuma (2023)	99.1 % (precisión Rank-1 reportada por los autores en conjuntos de datos de referencia)	FaceNet + RetinaFace	Servidor/GPU
Heredia y Donoso (2024)	No reportada	Raspberry Pi + cámara dedicada	Local (dispositivo)
Cardozo y Macen (2023)	No reportada	Raspberry Pi + servidor	Local + servidor
Presente estudio	100 % (condiciones controladas); 71.7 % (orientación facial); 78.9 % (iluminación variable)	Navegador web convencional	Local en navegador

Nota. Comparación basada en los resultados reportados por cada estudio bajo sus respectivas condiciones. Elaboración propia (2026).

Cabe señalar que en el mercado existen plataformas comerciales que automatizan el pase de lista mediante reconocimiento facial; sin embargo, estas soluciones implican costos de licenciamiento, dependencia de un proveedor externo y, en varios casos, transmisión de datos biométricos a servicios en la nube. En contraste,

la propuesta desarrollada opera íntegramente con procesamiento local en el navegador, sin costos de licencia y con control institucional completo sobre los datos, lo que resulta especialmente pertinente para el contexto de instituciones públicas rurales como la analizada en este estudio.

Sin embargo, las pruebas realizadas bajo variaciones de orientación facial evidenciaron una disminución considerable en la precisión del sistema, especialmente en posiciones laterales e inclinadas. Estos resultados coinciden con lo señalado por Terrazas Zeballos (2024), quien menciona que factores como las variaciones de pose, iluminación, sombras y ángulos de captura afectan directamente el desempeño de los sistemas de reconocimiento facial. En este sentido, aunque el sistema presentó un desempeño aceptable en condiciones no controladas, los resultados sugieren que el modelo depende en gran medida de imágenes frontales para lograr identificaciones más precisas.

Asimismo, Reyes Campos et al. (2023) sostienen que variables relacionadas con iluminación, brillo ambiental y perspectiva de captura pueden afectar la extracción de características biométricas dentro de sistemas automatizados de reconocimiento facial. Los resultados obtenidos en la presente investigación respaldan parcialmente este planteamiento, ya que se observaron diferencias importantes en el desempeño del sistema bajo determinadas condiciones lumínicas, particularmente en iluminación media, donde la precisión disminuyó considerablemente.

Por otra parte, Ibarra-Estévez y Paredes (2018) señalan que el uso de redes neuronales artificiales permite automatizar procesos de control de acceso y mejorar la velocidad de reconocimiento facial dentro de entornos organizacionales. En concordancia con estos hallazgos, el sistema desarrollado en esta investigación presentó tiempos de respuesta rápidos y estables, permitiendo ejecutar los procesos de detección facial, validación biométrica y generación automática de registros en pocos segundos.

Respecto al uso de inteligencia artificial y aprendizaje profundo, De la Cruz-Rocca et al. (2025) concluyen que los modelos basados en Deep Learning ofrecen mayores niveles de precisión y estabilidad frente a métodos tradicionales de reconocimiento facial. Aunque el sistema desarrollado en esta investigación utilizó face-api.js como herramienta principal de reconocimiento biométrico, los resultados obtenidos muestran un comportamiento consistente con las ventajas reportadas por dichos autores, especialmente en escenarios controlados de captura facial.

Los resultados obtenidos no solo evidencian la precisión del sistema, sino también la posibilidad de implementar soluciones biométricas funcionales en instituciones públicas con infraestructura limitada. Esto resulta relevante para contextos rurales latinoamericanos, donde la disponibilidad de hardware especializado y servicios en la nube suele ser restringida.

Finalmente, aunque el sistema presentó resultados favorables en términos de precisión y eficiencia operativa, se identificaron limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra experi-

mental y las variaciones ambientales durante las pruebas. Por ello, futuros trabajos podrían incorporar conjuntos de entrenamiento más amplios, técnicas de normalización lumínica y modelos avanzados de aprendizaje profundo que permitan incrementar la robustez del reconocimiento facial en condiciones reales y no controladas.

5. LIMITACIONES

A pesar de los resultados obtenidos, el estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse. La principal corresponde al tamaño de la muestra utilizada durante las pruebas experimentales, ya que únicamente participaron 30 usuarios, lo que reduce el alcance de generalización de los resultados.

Además, las pruebas fueron realizadas bajo condiciones relativamente controladas de iluminación y orientación facial. Debido a ello, el desempeño del sistema puede variar en escenarios con cambios más bruscos de luz, movimiento o calidad de captura.

Otro aspecto importante es que el sistema depende de cámaras convencionales, por lo que factores como la resolución del dispositivo o las condiciones del entorno pueden influir en la precisión del reconocimiento facial.

También sería conveniente realizar pruebas con una mayor diversidad de usuarios y en diferentes contextos de uso, con la finalidad de evaluar el comportamiento del sistema en escenarios más amplios.

6. CONCLUSIÓN

La presente investigación permitió implementar un sistema automatizado de control de asistencia basado en reconocimiento facial e inteligencia artificial mediante tecnologías web y procesamiento local en navegador. Los resultados evidenciaron alta precisión en condiciones controladas y una reducción significativa en el tiempo de registro frente al método manual tradicional.

Asimismo, las pruebas experimentales demostraron que variables como la iluminación y la orientación facial influyen directamente en el desempeño del reconocimiento biométrico, especialmente en escenarios no controlados. No obstante, el sistema mantuvo estabilidad operativa y tiempos de respuesta adecuados para entornos educativos reales.

Como principal aporte, el estudio valida la viabilidad de implementar sistemas biométricos basados en inteligencia artificial en instituciones públicas de contexto rural utilizando infraestructura tecnológica accesible y de bajo costo. Finalmente, futuros trabajos deberán incorporar modelos más robustos y conjuntos de entrenamiento con mayor diversidad facial y ambiental para mejorar la precisión del sistema.

REFERENCIAS

- Acevedo-Ávila, R., González-Bernal, J. A., & Fuentes-Pineda, G. (2020). Análisis de rendimiento en algoritmos de visión por computadora para identificación humana. *Computación y Sistemas*, 24(2), 415–428. <https://doi.org/10.13053/cys-24-2-3398>
- Adjabi, I., Ouahabi, A., Benzaoui, A., & Taleb-Ahmed, A. (2020). Past, present, and future of face recognition: A review. *Electronics*, 9(8), 1188. <https://doi.org/10.3390/electronics9081188>
- Alobaity, M. A. A., Yosif, Z. M., Alsoufi, M. S., & Al-Ashqar, S. (2024). Attendance system based on face recognition dependent on deep intelligent techniques. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 38(3), 1009–1016. <https://doi.org/10.18280/ria.380326>
- Balvín-Sánchez, E. M., Luis-Rojas, S., & Anselmo-De los Santos, E. (2026). Retos y desafíos en el aprendizaje de la programación: Un análisis en estudiantes de ciencias computacionales de la Sierra Norte del estado de Puebla, México. *Acta Universitaria*, 36, e4517. <https://doi.org/10.15174/au.2026.4517>
- Benavides Pérez, G., Sosa Jiménez, C. O., & Montané Jiménez, L. G. (2016). Reconocimiento facial aplicado a la toma de asistencia. *Pistas Educativas*, 38(122), 57–74. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/683>
- Cardozo Servián, L. A., & Macen Rojas, C. D. (2023). Reconocimiento biométrico facial para el control de asistencia de alumnos en centros educativos y visualización de resultados en dispositivos móviles. *Revista Ingeniería, Ciencias y Sociedad (RICS)*, 5(1), 66–90. <https://doi.org/10.47133/facet-unc-2023-1-5f>
- De la Cruz-Rocca, M. A., Muñoz-Robles, W., Leandro-Vadillo, W., Vicente-Guerra, N., & Porras-Rojas, M. (2025). Evaluación comparativa de algoritmos de reconocimiento facial para optimizar el control de asistencia de estudiantes de una universidad pública de Perú. *Investigación Valdizana*, 19(4), e2617. <https://doi.org/10.33554/riv.19.4.2617>
- Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S. (2019). ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 4690–4699). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00482>
- Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2021). *Fundamentals of database systems* (7th ed.). Pearson.
- Heredia Villacís, K. E., & Donoso Palomeque, O. E. (2024). Sistema de registro de asistencia de estudiantes mediante reconocimiento facial en tiempo real. *Cotopaxi Tech*, 4(1), 67–78. <https://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/105>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Ibarra-Estévez, J., & Paredes, K. (2018). Redes neuronales artificiales para el control de acceso basado en reconocimiento facial. *Revista PUCE*, (106), 191–210. <https://doi.org/10.26807/revpuce.v0i106.140>
- Jain, A. K., Ross, A., & Prabhakar, S. (2004). An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 4–20. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818349>
- Khan, S., Anzar, S. M., Subheesh, N. P., Panthakkan, A., & Malayil, S. (2021). Random interval attendance management system (RIAMS): A novel multimodal approach for post-COVID virtual learning. *IEEE Access*, 9, 91001–91016. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3092260>
- Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares. (2010, 5 de julio). *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPDPPP.pdf>
- Maldonado Córdova, K. A., Ramos Ramos, J., Sánchez Hernández, M. J., Hernández Mora, J. J., & Cuatecontzi Cuahutle, E. (2022). Arquitectura de un sistema de información con acceso a bases de datos con integridad referencial dinámica y uso de apps gubernamentales y bancarias. *Revista IPSUMTEC*, 5(3), 11–16. <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v5i3.125>
- Ochoa Torres, R. A., & López, D. E. (2024). Importancia de combinar seguridad de la información y ciberseguridad en procesos de desarrollo de software. *Revista Ciberespacio, Tecnología e Innovación*, 4(7), 5–13. <https://doi.org/10.25062/2955-0270.4962>
- Parkhi, O. M., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2015). Deep face recognition. *Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC 2015)*. BMVA Press. <https://doi.org/10.5244/C.29.41>
- Pérez-Montoro, M. (2010). Arquitectura de la información en entornos web. *Profesional de la Información*, 19(4), 333–338. <https://doi.org/10.3145/epi.2010.jul.01>
- Rahman, M. I., Younis, M. I., Abed, M. M., & Alsewari, A. A. (2020). Development of an attendance system based on cloud/fog computing. *Iraqi Journal of Science*, 61(5), 1190–1201. <https://doi.org/10.24996/ijss.2020.61.5.26>
- Reyes Campos, J. E. M., Castañeda Rodríguez, C. S., Alva Luján, L. D., & Mendoza de los Santos, A. C. (2023). Sistema de reconocimiento facial para el control de accesos mediante inteligencia artificial. *Innovación y Software*, 4(1), 24–36. <https://doi.org/10.48168/innosoft.s11.a78>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La guía de Scrum: Las reglas del juego*. Scrum.org. <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- Terrazas Zeballos, E. M. (2024). Sistema biométrico con reconocimiento facial. Un procedimiento de registro de casos de transporte y seguridad vial. *Revista Ingeniería*, 8(22), 144–162. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.124>
- Umar, M. A., & Lano, K. (2024). Advances in automated support for requirements engineering: A systematic literature review. *Requirements Engineering*, 29(2), 177–207. <https://doi.org/10.1007/s00766-023-00411-0>
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Warman, G. P., & Kusuma, G. P. (2023). Face recognition for smart attendance system using deep learning. *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, 2023, Article 19. <https://doi.org/10.28919/cmbn/7872>



ARTÍCULO ORIGINAL · CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TERRITORIAL

Enmienda orgánica con gallinaza mejora el desarrollo foliar de haba (*Vicia faba* L.) cultivada en Chignautla, Puebla, México

Alfonso Daniel Victoria Arellano^{1*}, Jairo Antonio Lara Peralta², Paloma Landero Sánchez², Emmanuel López Martínez², Ismael Fernando Chávez³

¹ Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA), Ahuacatlán, Puebla, México

² Universidades para el Bienestar Benito Juárez García, sede Chignautla, Puebla, México

³ Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Tepatitlán, Jalisco, México

* Autor(a) por correspondencia: alfonso.davicar@gmail.com · ORCID: 0000-0002-0583-3357

RESUMEN

En México, el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) representa una fuente de alimento rica en proteínas y antioxidantes. Se destina para autoconsumo, venta o alimentación ganadera. Los agricultores de Chignautla, Puebla, perciben este cultivo como de alto riesgo debido a los bajos rendimientos y a factores bióticos y abióticos relacionados con la fertilidad del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de diferentes enmiendas orgánicas sobre el desarrollo vegetativo del haba para proponer alternativas acordes con las condiciones edáficas locales. Se evaluaron cuatro fuentes de enmienda orgánica con base a estiércol (T1 = 8.1 t ha⁻¹ de bovino, T2 = 4.5 t ha⁻¹ de gallinaza, T3 = 7.5 t ha⁻¹ de ovino y T4 = 3.1 t ha⁻¹ de porcino) en comparación con un testigo sin enmienda (T5), utilizando plantas del cv. Huapaltepec establecidas bajo un diseño de bloques completos al azar. Se determinaron la altura de planta, el diámetro del tallo y el área foliar durante 11 semanas de evaluación. Aunque el tratamiento T1 presentó la mayor altura, ésta no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.05$). Por otra parte, la tasa de desarrollo del diámetro del tallo presentó diferencias significativas ($p = 0.05$), mientras que el área foliar mostró la mayor respuesta a la enmienda orgánica ($p < 0.01$). La aplicación de gallinaza a 4.5 t ha⁻¹ produjo la mayor área foliar (48.51 cm²), superando en 67.7 % al testigo. Estos resultados sugieren que la gallinaza favorece el desarrollo vegetativo del haba bajo las condiciones edáficas de Chignautla, Puebla.

Palabras clave: enmiendas orgánicas; crecimiento vegetativo; fertilidad del suelo; gallinaza

ABSTRACT

In Mexico, the cultivation of faba bean (*Vicia faba* L.) represents a food source rich in protein and essential micronutrients; however, its production faces challenges related to soil fertility loss derived from intensive use of chemical fertilizers. This study evaluated the effect of four organic amendments (bovine, poultry manure, sheep, and swine) on foliar development of faba bean cv. Huapaltepec under field conditions in Chignautla, Puebla, Mexico. A randomized complete block design with five treatments and four repetitions was used. Height, stem diameter, number of compound leaves, number of leaflets, and leaf area were evaluated during 11 weeks. Data were analyzed using ANOVA and Tukey HSD test. Results showed that poultry manure (T2) significantly promoted leaf area (48.51 cm², $p < 0.05$), representing a 67.7% increase over the control. Bovine manure (T1) produced greater height (83.52 cm) and height development rate. No significant differences were found in height development rate ($p = .057$). It is concluded that poultry manure constitutes the best organic alternative for foliar development of faba bean under the edaphic conditions of the study area.

Keywords: organic amendments; vegetative growth; soil fertility; poultry manure

Cómo citar: Victoria Arellano, A. D., Lara Peralta, J. A., Landero Sánchez, P., López Martínez, E., & Chávez, I. F. (2026). Enmienda orgánica con gallinaza mejora el desarrollo foliar de haba (*Vicia faba* L.) cultivada en Chignautla, Puebla, México. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 16–24.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba* L.) es un cultivo de gran importancia para Norte América debido a su perfil nutricional (rico en proteínas, aminoácidos esenciales, fibras y compuestos bioactivos) y capacidad para prosperar en diversos climas (Singh et al., 2024). En el 2024, en México, este cultivo se sembró en 8,342 ha para haba verde y 16406 ha para grano, lo que representó una producción de 53,806 y 27,000 ton, para verde y de grano, respectivamente (DGSIAP, 2024).

El principal uso de este cultivo es para el autoconsumo y venta, y si la calidad es baja se puede destinar para el consumo animal. En algunas regiones de Puebla (Tlahuapan y Chiautzingo), se considera un medio de subsistencia, inclusive por encima del cultivo de maíz, debido a que los productores consideran que el haba puede mejorar la fertilidad del suelo, se obtiene un alimento nutritivo, tiene versatilidad de venta (en verde y en grano), adquieren mayor ganancia cuando el grano se vende limpio (se elimina la testa) y los residuos pueden aprovecharse para la alimentación del ganado (Fuentes-Herrera et al., 2026).

El rendimiento nacional fluctúa entre 3.6 y 8 ton ha⁻¹, con un promedio nacional de 6.45 ton ha⁻¹ para haba verde, y entre 0.92 y 3.7 ton ha⁻¹ con un promedio nacional de 1.65 ton ha⁻¹ para grano (DGSIAP, 2024). La variación de estos rendimientos se debe a los cultivares empleados, estrés biótico y abiótico, como la antracnosis, la infestación por *Orobanche* spp., el encharcamiento, la sequía, la salinidad y las deficiencias de fósforo y potasio (Karkanis et al., 2018). Además, algunos agricultores han manifestado cierta desconfianza con el cultivo debido a la alta inestabilidad de los rendimientos (Alharbi et al., 2020). En este sentido, es necesario estudiar las condiciones locales y diseñar programas de fertilización para obtener los mejores rendimientos. Estudios recientes han demostrado que la fertilización combinada de 46:92:60 (N:P₂O₅:K₂O) pueden incrementar el diámetro de la planta hasta 9.58 mm (56% superior al tratamiento control sin fertilizar), y una combinación de 23:92:60 kg ha⁻¹ puede generar un rendimiento de 4.9 ton ha⁻¹ (4 veces superior al control) (Abebe et al., 2022).

No obstante, a pesar de los resultados prometedores, la fertilización química genera salinidad y cambios en el pH, lo que afecta la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. Como contramedida, las prácticas agronómicas como el manejo del laboreo, la geometría de los cultivos, la aplicación de nutrientes y el manejo de residuos son cruciales para el cultivo sostenible en suelos degradados (Hussain et al., 2024).

Los abonos orgánicos mejoran la fertilidad del suelo mediante el aporte de nutrientes y la modificación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Su efecto depende de la composición nutrimental y de la velocidad con la que liberan los nutrientes durante la descomposición. En particular, fuentes con mayores concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio pueden favorecer el desarrollo foliar y el crecimiento de las plantas. Además, la incorporación de materia orgánica incrementa la disponibilidad de nutrientes, la retención de humedad y la actividad microbiana del suelo, factores estrechamente relacionados con la productividad agrícola (Agegnehu et al., 2016).

Investigaciones previas han demostrado que enmiendas como la composta y el yeso pueden mitigar el estrés salino y mejorar la productividad del haba (El-Sherpiny y Kany, 2023). Con base en ello, se planteó la hipótesis de que los abonos orgánicos difieren en su efecto sobre el desarrollo vegetativo del cultivo debido a las variaciones en su composición nutrimental y velocidad de mineralización. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes abonos orgánicos sobre el desarrollo vegetativo del haba y generar recomendaciones de fertilización adaptadas a las condiciones edáficas de Chignautla, Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ensayo se desarrolló en el área de producción de hortalizas de las Universidades para el Bienestar Benito Juárez García, sede Chignautla, Puebla, el cual se encuentra en la latitud 19.774263 y longitud -97.4050324, con una elevación de 2534 msnm.

Preparación de suelo y análisis de fertilidad

Dos meses antes del establecimiento del cultivo, el suelo fue deshierbado con una desbrozadora de hilo. El barbecho, el trazado de surcos, y la división de las parcelas se ejecutaron con herramientas manuales. Para el ensayo se delimitó un área de 25 m², y fue dividida en cuatro bloques de 6 m² y 1 m² se usó para formar las calles de separación entre bloques. En cada bloque se dispuso una parcela de 1.2 m² de cada tratamiento de forma aleatoria.

Para el análisis de fertilidad se realizó un muestreo completamente al azar de 20 submuestras de suelo, a 30 cm de profundidad. El suelo fue mezclado en un recipiente y una muestra de 1 kg fue seleccionada para su envío al laboratorio.

Siembra y manejo agronómico

La siembra se realizó el 12 de septiembre de 2024, para ello, se utilizó la semilla de haba criolla de Huapaltepec, y se adquirió

con agricultores de la comunidad de Huapaltepec, se destinaron dos semillas por golpe y se sembraron a un distanciamiento de 40 cm entre plantas y 60 cm entre surcos. Los riegos fueron proporcionados manualmente, conforme a las condiciones de desarrollo del cultivo, condiciones meteorológicas y de humedad de suelo. El deshierbe y el aporque del cultivo se realizó con herramientas manuales. Para el control de insectos se realizó una aplicación en etapa vegetativa (V4) de 20 g/L de jabón potásico y una intervención para el control de enfermedades fúngicas se aplicó caldo bordelés al 1% con la mezcla de 10 g de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y 10 g de cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) por cada litro de agua.

Diseño experimental y designación de los tratamientos

El ensayo se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), compuesto por cinco tratamientos y cuatro

bloques, totalizando 20 unidades experimentales. Cada bloque constituyó una repetición del experimento. La unidad experimental fue la parcela, y dentro de cada una se evaluaron cuatro plantas al azar, cuyo dato fue promediado para obtener un único valor por unidad experimental, el cual se empleó en el análisis estadístico. Cada tratamiento consistió en un tipo de abono orgánico con diferente dosis conforme a la tabla 1. Para determinar la dosis de cada abono orgánico por hectárea, se consideró la composición porcentual de fósforo reportado en la literatura (tabla 1), y considerando una demanda de 46 kg ha^{-1} de P_2O_5 , es decir la mitad de la dosis reportada por Abebe et al. (2022).

Tabla 1
Porcentaje de fósforo considerado para el cálculo de la dosis de la fuente de los abonos orgánicos y tratamientos establecidos

Tratamiento	Fuente	% de Fósforo (P)	Dosis en ton ha-1	Referencia
T1	Bovino	0.74	8.1	Herefordshire Council, 2021
T2	Gallinaza	1.35	4.5	Agbede et al. 2024
T3	Ovino	0.8	7.5	McDowell and I. Stewart (2005)
T4	Porcino	1.9	3.1	NUTRIMAN. (2020).
T5	control			

Nota. Elaboración propia con base en las fuentes citadas.

Para calcular la dosis se utilizó la fórmula propuesta por Sánchez (2009):

$$\text{Dosis} = (\text{SUM} - \text{DEM}) \times \text{FEF}$$

SUM= Subministro del suelo

DEM= Demanda del cultivo

FEF= factor de la eficiencia de fertilización= 1.9

La dosis de la fuente, se calculó usando la fórmula estándar para la elaboración de formulaciones nutritivas en cultivos, y fue representada como sigue.

$$\text{DAO} = (\text{CDN} / \text{CNAO}) \times 100$$

Donde:

DAO= Dosis del abono orgánico

CDN= Concentración deseada del nutriente

CNAO= Concentración del Nutriente del Abono Orgánico

Variables agronómicas evaluadas

Quince días posteriores a la germinación las plantas se evaluaron cada 7 días durante 11 semanas consecutivas. Para ello se determinaron las siguientes variables vegetativas:

diámetro del tallo, altura, número de hojas compuestas, número de folíolos, y largo y ancho de los mismos.

El diámetro del tallo fue determinado a 2 cm por encima de la superficie del suelo con un vernier digital, la altura se determinó con flexómetro desde la superficie del suelo hasta el último brote apical y el número de hojas y folíolos se contabilizó manualmente en toda la planta, sin tomar en cuenta folíolos secos, enfermos o no desarrollados. Para el caso de las mediciones de largo y el ancho de los folíolos fueron obtenidos mediante una regla graduada, desde la base hasta el ápice foliar (largo) y el valor máximo de lado perpendicular a la nervadura central (ancho).

Al finalizar el experimento (semana 11), los datos del largo y ancho del folíolo fueron usados para calcular el área foliar, usando el modelo propuesto por Peksen (2007) para *Vicia faba* L.

$$\text{LA} = 0.919 + 0.682 \times (\text{L} \times \text{W})$$

Donde: LA = área foliar (cm^2), L = largo del folíolo (cm), W = ancho del folíolo (cm) (Peksen, 2007).

Análisis de la tasa de crecimiento

Para las variables de diámetro (en mm) y altura (en cm) se calculó la tasa de desarrollo conforme a la fórmula Hunt (1982):

$$\text{Tasa (unidades/día)} = (\text{VF} - \text{VI}) / 77 \text{ días}$$

Análisis de datos

Previo a realizar la ejecución de modelos paramétricos, los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad mediante el test de Shapiro y Wilk (1965), y de homogeneidad de varianzas, conforme a lo establecido por Levene (1960). Ambas pruebas fueron aplicadas, a los residuos de los modelos en estudio. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, usando el siguiente modelo lineal propuesto por Steel et al. (1997).

Posterior a la prueba de ANOVA y al detectar diferencias significativas ($p < .05$), se aplicó la prueba de Tukey HSD (1949), para mostrar la divergencia entre los tratamientos.

Para evaluar la dinámica de crecimiento de las variables de altura, número de folíolos y número de hojas compuestas, se construyeron curvas de comportamiento a lo largo de las 11 semanas de evaluación. Cada punto representó la media semanal sin considerar el error estándar, para mejorar la visualización de los datos.

Los análisis estadísticos y generación de los gráficos fueron realizados usando R core team, 2023, y usando paquetes específicos: readxl para la importación de los datos (Wickham and Bryan, 2023), dplyr y tidyr para la manipulación y limpieza de datos (Wickman et al., 2023), ggplot2 para la construcción de curvas de crecimiento, el paquete estadístico car para el análisis de homogeneidad de varianzas (Fox and Weisberg, 2019), y los paquetes emmeans y multcomp para las comparaciones pos-hoc (Lenth, 2023; Hothorn et al., 2008).

RESULTADOS

Fertilidad de suelo

El análisis de fertilidad (SU-223864) reveló que el suelo presenta textura franca, pH neutro (6.51), baja salinidad (CE de 0.24 dS/m) y un contenido de materia orgánica de 8.22%. En cuanto a la disponibilidad de nutrientes, se detectaron niveles altos de potasio (483 kg ha^{-1}) y calcio ($2,776 \text{ kg ha}^{-1}$), mientras que el nitrógeno en su forma NO_3 (22.38 kg ha^{-1}) el fósforo (14.9 kg ha^{-1}), magnesio (207.8 kg ha^{-1}) y azufre (11.2 kg ha^{-1}) se encontraron en niveles bajos. Con relación a los micronutrientes, el zinc (1.02 mg kg^{-1}), manganeso (4.09 mg kg^{-1}) y cobre (0.56 mg kg^{-1}) se registraron en niveles moderadamente bajos, mientras que el boro fue muy pobre (0.11 mg kg^{-1}).

Altura de las plantas

Durante las 11 semanas de evaluación, se observaron diferencias notables entre los tratamientos evaluados con respecto al testigo (T5, Figura 1). El tratamiento con el abono bovino (T1) presentó un crecimiento de altura superior en todas las semanas de evaluación con relación a los demás tratamientos, sin embargo, en la cuarta semana de monitoreo hubo un decremento. Los tratamientos a base de gallinaza (T2) ovino (T3), y porcino (T4), no se destacaron uno del otro, sin embargo, mantuvieron alturas mayores desde la semana 2 hasta las 11 con respecto al tratamiento T5, excepto el de gallinaza, el cual mantuvo esta diferencia hasta la semana 10.

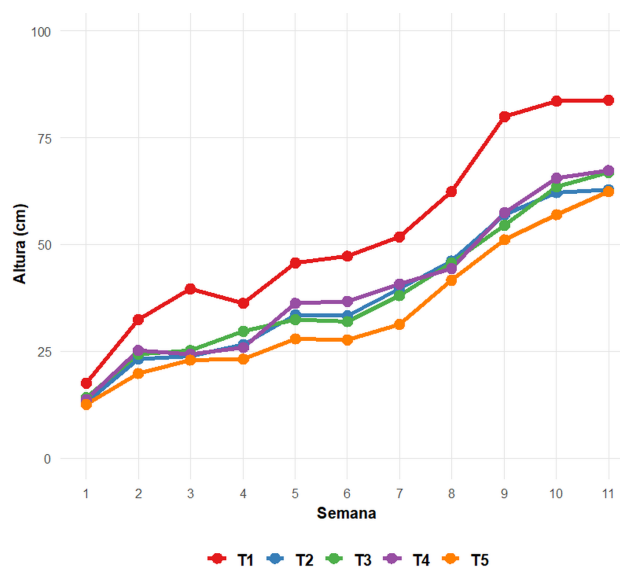


Figura 1

Altura de planta (cm) de *Vicia faba* cv. Huapaltepec durante 11 semanas de evaluación bajo cinco esquemas de enmienda orgánica.

Nota. T1 = bovino; T2 = gallinaza; T3 = ovino; T4 = porcino; T5 = testigo. Elaboración propia (2026).

La tasa de desarrollo de altura (TDA) alcanzada por las plantas fue mayor en el tratamiento T1 (Figura 2) con relación a los demás tratamientos, no obstante, los valores no se diferenciaron estadísticamente de acuerdo con el análisis de varianza ($p = .057$).

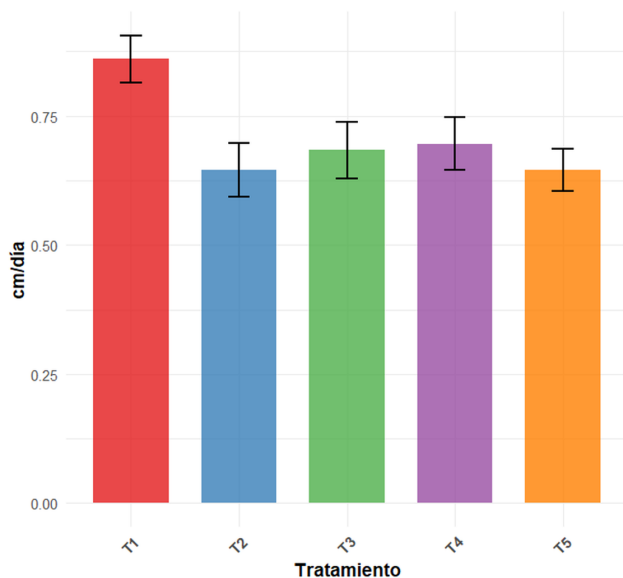


Figura 2
Tasa de desarrollo de la altura (TDA) de *Vicia faba* cv. Huapaltepec bajo diferentes esquemas de enmienda orgánica.

Nota. Barras de error = error estándar. ANOVA: $F(4,15) = 2.73$, $p = .057$ (ns). Elaboración propia (2026).

La tasa de desarrollo del diámetro del tallo (TDT) mostró diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al ANOVA ($p=0.02$) por el efecto del tratamiento (Figura 3), mientras que el efecto del bloque no mostró variación ($p=0.91$). El análisis de Tukey demostró diferencias estadísticamente significativas de la TDT entre el tratamiento T4 y el tratamiento T1 y T3, pero fue estadísticamente similar al obtenido por el tratamiento T2 y el T5. Cabe señalar que la TDT no tuvo diferencias entre los tratamientos T1, T2, T3 y T5).

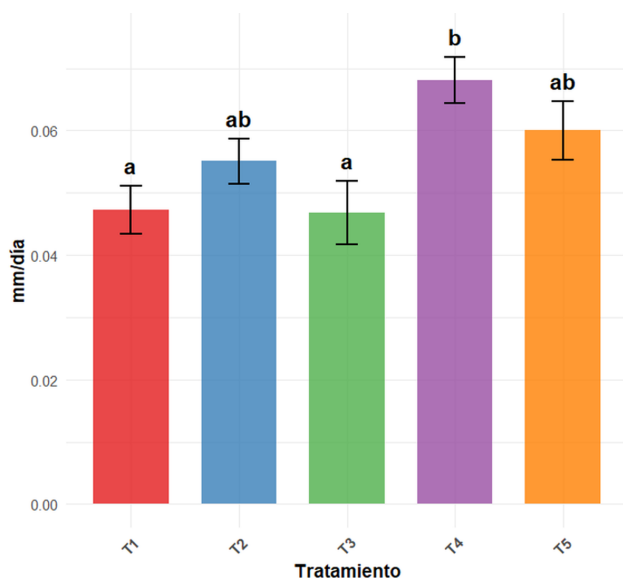


Figura 3
Tasa de desarrollo del diámetro del tallo (TDT) de *Vicia faba* cv. Huapaltepec bajo diferentes esquemas de enmienda orgánica.

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < .05$). Elaboración propia (2026).

Número de hojas compuestas y folíolos

Las curvas de tendencia de producción de hojas a lo largo de las 11 semanas presentaron diferencias notables entre los tratamientos (Figura 4), no obstante, sólo los tratamientos T1, T2 y T3 se destacaron del testigo desde la semana 3 hasta la 11. Por otra parte, el tratamiento T4 produjo valores similares e inclusive inferiores al del testigo a partir de la sexta semana de evaluación.

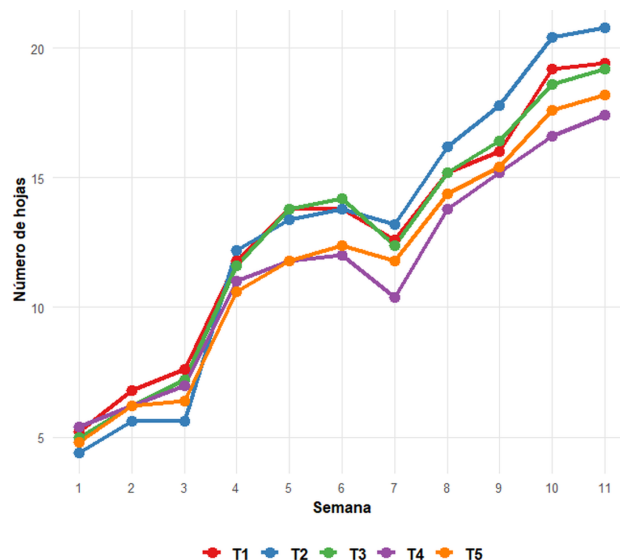


Figura 4
Número de hojas por planta de *Vicia faba* cv. Huapaltepec durante 11 semanas por tratamiento de enmienda orgánica.

Nota. T1-T5 como en Figura 1. Elaboración propia (2026).

El número de folíolos fue divergente en todos los tratamientos durante las 11 semanas de evaluación (Figura 5). El tratamiento T4 tuvo la menor producción de folíolos a partir de la sexta semana. Por su parte, el resto de tratamientos se comportó de manera similar hasta la semana siete, posterior a esta semana, los tratamientos T2 y T3 fueron superiores a los tratamientos T1 y T5.

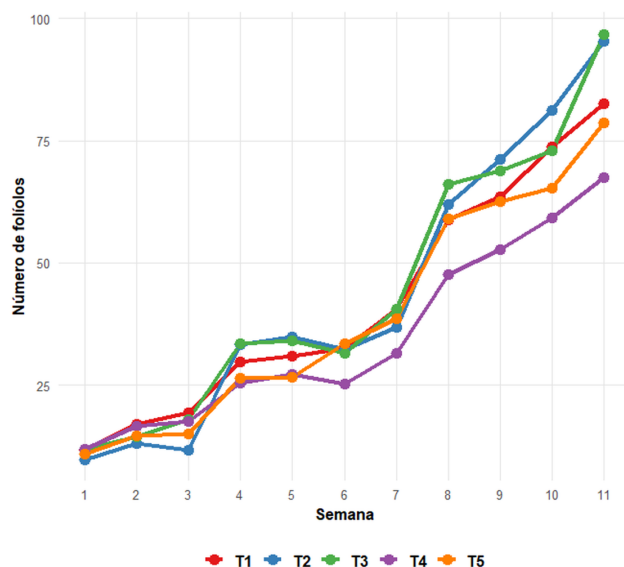


Figura 5
Número de folíolos por planta de *Vicia faba* cv. Huapaltepec durante 11 semanas por tratamiento de enmienda orgánica.

Nota. T1-T5 como en Figura 1. Elaboración propia (2026).

Área foliar

En cuanto al área foliar se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.001$), pero no entre los bloques ($p = 0.5605$). El análisis de Tukey del AF mostró diferencias significativas entre el tratamiento T2 (gallinaza, 48.51 cm^2) y los tratamientos restantes (Figura 6), en tanto que, el tratamiento T1 (35.57 cm^2) mantuvo diferencias con el tratamiento T3 (25.42 cm^2). Por otra parte, los tratamientos T4 (31.21 cm^2) y T5 (28.77 cm^2) obtuvieron los valores más bajos y estadísticamente diferentes del T2.

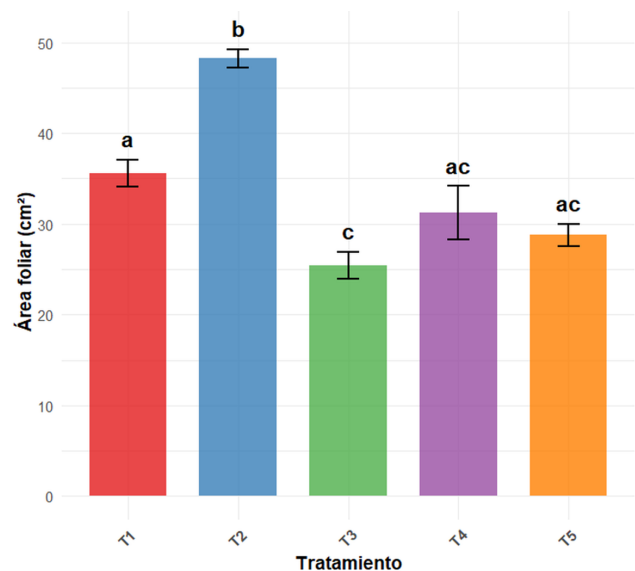


Figura 6
Área foliar de *Vicia faba* cv. Huapaltepec bajo diferentes esquemas de enmienda orgánica.

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < .05$). Elaboración propia (2026).

DISCUSIÓN

Este estudio evaluó la utilización de abonos orgánicos para mejorar las características agronómicas vegetativas de las plantas de *Vicia faba* (altura, diámetro de tallo y área foliar), en el Municipio de Chignautla, Puebla, con la finalidad de proponer alternativas sustentables adaptadas a las condiciones ambientales y edáficas locales. En este sentido, se demostró que el uso de diferentes abonos orgánicos puede mejorar el desarrollo y producción de estas características vegetativas, sin embargo, no todas las variables analizadas demostraron una diferencia contrastante. Para el caso de la variable de altura el tratamiento T1 (abono orgánico de Bovino), produjo una curva de crecimiento relativamente superior a los demás tratamientos, en todas las semanas de evaluación, incluyendo el T5 (testigo), pero no hubo diferencias estadísticamente significativas cuando se evaluó la Tasa de Desarrollo de la Altura (TDA), lo cual podría indicar que los efectos de los abonos orgánicos no incidieron en esta variable. Este comportamiento ya ha sido demostrado recientemente por Toledano et al., 2020, en un estudio realizado en una zona cercana (Tlatlauquitepec, Puebla), donde demostraron que el uso de compuestos orgánicos en plantas de *Vicia faba* en forma de lixiviado de raquis de plátano, lixiviado de lombricomposta, e inclusive fertilizante granulado (15-15-15-11), no tuvieron diferencias significativas con relación al testigo, en las variables fenológicas evaluadas (incluyendo la altura). La falta de respuesta en crecimiento vertical podría sugerir que en suelos donde hay una fertilización de base adecuada, el aporte mineral de los abonos orgánicos podría no necesariamente traducirse en crecimiento, como ya fue demostrado en otras investigaciones Toledano et al. (2020).

Cabe señalar, que los abonos orgánicos han demostrado mejores resultados en cuanto a rendimiento cuando se usan combinados con fertilizantes inorgánicos como la Urea, como fue demostrado por Liu et al. (2022), donde la utilización de un abono orgánico de proteína de pescado (Pulideng SW) mejoró significativamente el rendimiento (de 10.3 a 13.5 ton ha⁻¹) con la utilización de un ratio de 50:50 de fertilización orgánica e inorgánica.

Por otro lado, la tasa de desarrollo del diámetro del tallo (TDT) mostró diferencias entre tratamientos, donde T4 (estiércol porcino) presentó el mayor incremento diario en comparación con T1 (estiércol bovino) y T3 (estiércol de ovino) pero no difirió de T2 (gallinaza) ni del testigo (T5). Esto sugiere patrones contrastantes en el engrosamiento del tallo entre fuentes de enmienda orgánica. Aunque estas diferencias sugieren respuestas contrastantes en los patrones de crecimiento de las plantas, los mecanismos fisiológicos involucrados no fueron evaluados en este estudio. Debido a que no se determinaron variables como acumulación de biomasa, partición de asimilados o actividad fotosintética, no es posible establecer si existió una asignación diferencial de recursos entre el crecimiento en altura y el engrosamiento del tallo. Sin embargo, se observó que los tratamientos formulados con estiércol de bovino (T1), gallinaza (T2) y de oveja (T3) mantuvieron una mayor producción de hojas compuestas y folíolos durante gran parte del periodo de evaluación, mientras que el estiércol de cerdo (T4) y el control (T5) registraron valores inferiores para estas variables.

Particularmente, las plantas con enmienda de gallinaza (T2) destacaron por presentar valores elevados en la mayoría de las variables vegetativas evaluadas, especialmente en el número de hojas compuestas, número de folíolos y área foliar. Cabe señalar que esta última variable fue significativamente superior a la obtenida en el resto de los tratamientos, incluido el testigo. Este comportamiento coincide con lo reportado por Babiker (2019), quien observó que la aplicación de gallinaza incrementó significativamente el número de hojas, el diámetro del tallo, el número de vainas por planta y el rendimiento de haba en comparación con el tratamiento sin fertilización. Asimismo, la respuesta observada podría estar relacionada con la elevada disponibilidad de nutrientes y la rápida mineralización característica de la gallinaza, factores que favorecen la liberación de nitrógeno y fósforo hacia la solución del suelo y promueven el crecimiento vegetativo de los cultivos (Agegnehu et al., 2016). En conjunto, estos resultados sugieren que la gallinaza constituye una alternativa prometedora para favorecer el desarrollo vegetativo del haba bajo las condiciones evaluadas.

Considerando el área foliar, la gallinaza presentó un incremento de 67.7% con relación al testigo, lo que significa que este sustrato orgánico puede incrementar sustancialmente esta carac-

terística fenológica. Un hallazgo similar (con el uso de fuentes orgánicas) fue obtenido mediante el uso de ácido húmico, el cual incrementó significativamente el área foliar y el índice de área foliar, en comparación con el tratamiento control, de acuerdo con los autores del estudio la función del ácido húmico mejora la permeabilidad de la membrana, la actividad enzimática y la actividad hormonal, lo que permite desencadenar estimulación del crecimiento y un aumento en la división y elongación celular, que se traduce en crecimiento de la planta (Al-Azee et al. 2023). En nuestro trabajo pudo pasar algo similar, ya que la gallinaza se ha comprobado que es una fuente de ácidos húmicos y fúlvicos, y además su composición puede variar dependiendo los organismos descomponedores como se ha demostrado con las larvas de las moscas soldado (Cai et al. 2024).

La respuesta observada con la gallinaza también podría estar relacionada con su mayor concentración de nutrientes y una mineralización más rápida en comparación con otros estiércoles. La descomposición de materiales orgánicos con alta disponibilidad de nitrógeno y fósforo favorece una liberación más eficiente de nutrientes hacia la solución del suelo, incrementando su disponibilidad para las plantas durante las etapas tempranas del crecimiento. Además, la incorporación de materia orgánica puede mejorar la actividad microbiana, la retención de humedad y la eficiencia en el aprovechamiento nutrimental, factores estrechamente asociados con el desarrollo vegetativo de los cultivos (Agegnehu et al., 2016). Estas características podrían explicar, al menos parcialmente, la superioridad observada en el área foliar de las plantas fertilizadas con gallinaza.

Este trabajo además demostró que el uso de cantidades de abono orgánico más altas no necesariamente determinó un mayor rendimiento vegetativo.

Para el caso del abono de bovino se utilizó 44 % más cantidad con relación al de gallinaza, sin embargo, se obtuvo un mejor rendimiento de hojas con este último. Estos resultados indican que una mayor cantidad de abono aplicado no necesariamente se traduce en una mejor respuesta vegetativa del cultivo. En particular, la gallinaza promovió un mayor desarrollo foliar que el estiércol bovino a pesar de aplicarse en una dosis menor. Aunque esta diferencia podría representar ventajas operativas relacionadas con el manejo y aplicación de los insumos orgánicos, en el presente estudio no se realizó una evaluación económica que permita cuantificar posibles beneficios productivos o financieros. Por ello, futuras investigaciones deberían incorporar análisis de costos y rentabilidad para determinar la viabilidad económica de estas estrategias de fertilización. Esto ya ha sido demostrado en un estudio en Etiopía con el uso de un inoculante microbiano y vermicomposta, los cuales generaron un retorno marginal de 149 hasta 5624% (Mekonnen y Tamiro, 2024). En concordancia, en otro estudio llevado a cabo en Ecuador, se observó una mayor relación beneficio/costo en el tratamiento con humus de lombriz con 2.33 USD (310 % más

que el testigo), seguido del compost con 1.70 USD (242 % más que el testigo) (Martínez & Yépez, 2022).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la respuesta del cultivo de haba a la fertilización orgánica depende de la fuente utilizada. Aunque no se observaron diferencias significativas en la tasa de desarrollo de la altura, la aplicación de gallinaza a una dosis de 4.5 t ha⁻¹ promovió el mayor desarrollo foliar, alcanzando un área foliar significativamente superior al resto de los tratamientos evaluados. Este efecto sugiere una mayor eficiencia de la gallinaza para favorecer el crecimiento

vegetativo bajo las condiciones edáficas de Chignautla, Puebla. Además, su desempeño fue comparable o superior al de otras fuentes orgánicas aplicadas en mayores cantidades, lo que evidencia que una dosis más elevada de abono no necesariamente se traduce en una mejor respuesta agronómica. En conjunto, los resultados indican que la gallinaza constituye una alternativa prometedora para el manejo nutricional del cultivo de haba en la región. No obstante, son necesarios estudios complementarios que evalúen variables de rendimiento, calidad de grano y viabilidad económica para validar su aplicación a escala comercial.

REFERENCIAS

- Agbede, T. M., Oyewumi, A., Agbede, G. K., Adekiya, A. O., Adebiyi, O. T. V., Abisuwa, T. A., Ijigbade, J. O., Ogundipe, C. T., Wewe, A. O., Olawoye, O. D., & Eifediyi, E. K. (2024). Impacts of poultry manure and biochar amendments on the nutrients in sweet potato leaves and the minerals in the storage roots. *Scientific Reports*, *14*, 16543. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67486-9>
- Agegneh, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, *543*, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Abebe Tsige, B., Dechassa, N., Tana, T., Laekemariam, F., & Alemayehu, Y. (2022). Effect of mineral nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on the productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) in acidic soils of Wolaita Zone, Southern Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 2022, Article ID 2232961. <https://doi.org/10.1155/2022/2232961>
- Al-Azee, A. J. A., Raheem, A. H., & Al-Obaidy, K. S. A. (2023). Broad bean (*Vicia faba* L.) crop growth and yield response to humic acid and phosphorus fertilizer. *Nativa*, *11*(3), 408-421.
- Alharbi, N. H., & Adhikari, K. N. (2020). Factors of yield determination in faba bean (*Vicia faba*). *Crop & Pasture Science*, *71*(4), 305-321. <https://doi.org/10.1071/CP19103>
- Alvi, M. H., Ali, H., Haider, K., Chughtai, A. H., Abdullah, M., Batool, S., Rasool, S., Anwar, R. N., & Hussain, S. (2024). Chemically degraded soil: Strategies for mitigating its toxicity and enhancing sustainable crop production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *25*, 363-381.
- Babiker, H. B. H. (2019). Effects of organic, inorganic and biofertilizers on growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) [Tesis de maestría, Sudan University of Science and Technology].
- Cai, T., Ming, Y., Zhang, Y., & Zhang, Q. (2024). Unraveling the role of black soldier fly larvae in chicken manure conversion: Facilitating maturation and enhancing humification. *Science of The Total Environment*, *952*, 175952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175952>
- El-Sherpiny, M. A., & Kany, M. A. (2023). Maximizing faba bean tolerance to soil salinity stress using gypsum, compost and selenium. *Egyptian Journal of Soil Science*, *63*(2), 243-253.
- Eshel, A., Srinivasa Rao, C., Benzioni, A., & Waisel, Y. (2001). Allometric relationships in young seedlings of faba bean (*Vicia faba* L.) following removal of certain root types. *Plant and Soil*, *236*, 161-166.
- Fuentes-Herrera, P. B., Covarrubias-Salvatori, V. G., & Pérez-Armendáriz, B. (2026). Morphological evaluation, consumption, perception and valuation of local faba bean varieties from Tlahuapan and Chiautzingo Puebla, Mexico. *Revista de Geografía Agrícola*, (75), e24001. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.12.001>
- Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression* (3rd ed.). [Software de computadora]. Sage. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Herefordshire Council. (2025). Emissions modelling assessment - Whitwick Manor AD plant. Oaktree Environmental Ltd.
- Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, *50*(3), 346-363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- Hunt, R. (1982). *Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold.
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernández, J. A., Vågen, I. M., Rewald, B., Alsina, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E., & Savvas, D. (2018). Faba bean cultivation – Revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1510. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01115>
- Lenth, R. V. (2023). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means [Paquete de R]. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. In I. Olkin, S. G. Ghurye, W. Hoeffding, W. G. Madow, & H. B. Mann (Eds.), *Contributions to probability and statistics: Essays in honor of Harold Hotelling* (pp. 278-292). Stanford University Press.
- Liu, Z., Xing, Y., Jin, D., Liu, Y., Lu, Y., Chen, Y., Chen, D., & Zhang, X. (2022). Improved nitrogen utilization of faba bean (*Vicia faba* L.) roots and plant physiological characteristics under the combined application of organic and inorganic fertilizers. *Agriculture*, *12*(12), 1999. <https://doi.org/10.3390/agriculture12121999>
- Martínez Ibarra, Y. D., & Yépez Arauz, H. Y. (2022). Comportamiento agronómico del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) con diferentes dosis de abonos orgánicos más ácido húmico en el sector Chipe Hamburgo, cantón La Maná [Proyecto de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- McDowell, R. W., & Stewart, I. (2005). Phosphorus in fresh and dry dung of grazing dairy cattle, deer, and sheep: Sequential fraction and phosphorus-31 nuclear magnetic resonance analyses. *Journal of Environmental Quality*, *34*(2), 598-607.
- Mekonnen, M., & Tamiru, G. (2024). The effects of organic fertilizers on soil, biology, and economic outputs of faba beans (*Vicia faba* L.) in Kersa Malima District, Central Highlands of Ethiopia. *Journal of Biology and Life Science*, *13*(1), 1-8. <https://doi.org/10.11648/j.bio.20251301.11>
- NUTRIMAN. (2020). Urine from pig manure by "VeDoWS" adapted stable constructions system (Practice Abstract ID-322). EIP-AGRI.
- Peksen, E. (2007). Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*, *113*(4), 322-328. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.04.003>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing* (Versión 4.2.3) [Software de computadora]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Sánchez García, P. (2009). *Manual de nutrición de zarzamora*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) - Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAPI). (2024). Estadística de producción de haba verde y grano en México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591-611.
- Singh, M., Balota, M., Huang, H., O'Keefe, S., & Carneiro, R. (2024). Faba bean: Unlocking nutritional potential and agricultural sustainability. *Current Research in Food Science*, 11, 101136. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.101136>
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. A. (1997). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Toledano López, N. (2020). Producción y calidad de *Vicia faba* a base de abonos orgánicos. [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
- Tukey, J. W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5(2), 99-114
- Wickham, H., & Bryan, J. (2023). readxl: Read Excel Files (Versión 1.4.1) [Paquete de R]. <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>
- Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K. (2023). dplyr: A Grammar of Data Manipulation [Paquete de R]. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Wickham, H., Vaughan, D., & Girlich, M. (2023). tidyr: Tidy Messy Data [Paquete de R]. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyr>
- Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., & Dunnington, D. (2023). ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics [Paquete de R]. <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>



ARTÍCULO ORIGINAL · CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TERRITORIAL

Repositorio institucional inteligente aplicado a comunidades rurales

Iván Vicente-Anaya¹, Edison Milton Balvín-Sánchez^{1*}

¹ Licenciatura en Ingeniería en Tecnología Informática, Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA), Puebla, México

* Autor(a) por correspondencia: edison.balvin@uiepa.edu.mx · ORCID: 0009-0006-5307-6342

RESUMEN

Las instituciones de educación superior generan una cantidad importante de conocimiento académico mediante tesis y proyectos de investigación; sin embargo, en contextos universitarios rurales parte de esta información permanece almacenada en formatos físicos o sistemas con capacidades limitadas de búsqueda, reduciendo su accesibilidad y aprovechamiento. En este trabajo se desarrolló e implementó Neurorepo, un repositorio institucional inteligente orientado a la preservación, organización y recuperación de tesis académicas mediante herramientas de Inteligencia Artificial Generativa. Durante el desarrollo del sistema se identificó que uno de los principales retos fue adaptar las capacidades de los modelos generativos a documentos académicos con diferentes estructuras y formatos de digitalización. Para desarrollar Neurorepo se trabajó mediante ciclos de prototipado, donde cada versión permitió probar funciones, corregir errores e incorporar mejoras antes de la evaluación final. Neurorepo fue construido mediante una arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC) utilizando PHP y MySQL, integrando técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural para la extracción automática de metadatos desde documentos PDF y un asistente conversacional para facilitar la consulta de información académica. La evaluación incluyó a 20 participantes relacionados con actividades de investigación, revisión y gestión documental. Sus respuestas permitieron conocer la experiencia de uso de Neurorepo dentro del contexto institucional donde fue implementado, mostrando una aceptación favorable del sistema, obteniendo un 80 % de valoraciones positivas en la extracción automática de metadatos, 90 % en el desempeño del chatbot académico y una media general de 4.5 sobre 5 en la evaluación de funcionalidad y utilidad. Los resultados obtenidos permitieron observar que Neurorepo contribuyó a mejorar la organización de tesis académicas y facilitó la recuperación de información dentro de la institución evaluada. Se concluye que Neurorepo constituye una solución adaptable para apoyar la preservación y recuperación de información científica generada en comunidades universitarias rurales.

Palabras clave: *repositorio institucional; inteligencia artificial generativa; procesamiento de lenguaje natural; preservación digital; gestión documental*

ABSTRACT

Higher education institutions generate a significant amount of academic knowledge through theses and research projects; however, in rural university contexts, part of this information remains stored in physical formats or systems with limited search capabilities, reducing its accessibility and use. In this work, Neurorepo was developed and implemented — an intelligent institutional repository aimed at the preservation, organization, and retrieval of academic theses using Generative Artificial Intelligence tools. During the development of the system, one of the main challenges identified was adapting the capabilities of generative models to academic documents with varying structures and digitization formats. Neurorepo was developed through prototyping cycles, where each version allowed functions to be tested, errors to be corrected, and improvements to be incorporated before the final evaluation. Neurorepo was built using a Model-View-Controller (MVC) architecture with PHP and MySQL, integrating Natural Language Processing techniques for the automatic extraction of metadata from PDF documents, and a conversational assistant to facilitate the retrieval of academic information. The evaluation conducted with 20 participants involved in research, review, and document management processes made it possible to analyze real users' responses to the platform, showing favorable acceptance of the system — achieving 80% positive ratings for automatic metadata extraction, 90% for the academic chatbot's performance, and an overall mean score of 4.5 out of 5 in the assessment of functionality and usability. The evaluation revealed that Neurorepo contributed to improving the organization of academic theses and facilitated information retrieval within the evaluated institution. It is concluded that Neurorepo constitutes an adaptable solution to support the preservation and retrieval of scientific information generated in rural university communities.

Keywords: *institutional repository; generative artificial intelligence; natural language processing; digital preservation; document management*

Cómo citar: Vicente-Anaya, I. & Balvín-Sánchez, E. M. (2026). Repositorio institucional inteligente aplicado a comunidades rurales. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 25–34.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. **CC BY-NC 4.0**

1. INTRODUCCIÓN

Cada año, las instituciones de educación superior generan tesis y proyectos que contienen conocimiento valioso; conservar este material y facilitar su consulta continúa siendo un desafío. Su impacto depende no solamente de su creación, sino también de la capacidad institucional para organizarlo y ponerlo a disposición de nuevas generaciones de estudiantes e investigadores. Uno de los principales desafíos de las universidades es evitar que tesis, proyectos y documentos académicos permanezcan únicamente como archivos almacenados. Para atender esta necesidad se requieren estrategias que faciliten la preservación, consulta y aprovechamiento de estos documentos dentro de la comunidad académica.

Los repositorios institucionales surgieron como una respuesta tecnológica ante esta necesidad, al proporcionar espacios digitales destinados a preservar, clasificar y difundir la producción científica generada dentro de las universidades, favoreciendo la construcción de infraestructuras académicas digitales y el acceso abierto al conocimiento científico. Estas plataformas han permitido fortalecer el acceso abierto al conocimiento y mejorar los procesos de recuperación documental mediante esquemas organizados de almacenamiento de información académica (Borgman, 2010; Suber, 2012; Umaña-Alpizar, 2015; Voutssás-Márquez, 2014).

A pesar de estos avances, la adopción de soluciones digitales no ocurre bajo las mismas condiciones en todos los contextos educativos. En instituciones ubicadas en regiones rurales o con infraestructura tecnológica limitada, todavía es frecuente encontrar procesos documentales basados principalmente en archivos físicos, registros manuales y mecanismos tradicionales de búsqueda. Esta situación reduce la visibilidad del conocimiento generado localmente y dificulta que estudiantes, docentes e investigadores puedan utilizar trabajos previos como base para nuevas investigaciones. Estudios desarrollados en instituciones de la Sierra Norte de Puebla han evidenciado que las condiciones tecnológicas y contextuales pueden influir en los procesos académicos y en el acceso a recursos digitales (Balvín-Sánchez et al., 2026; Rodríguez-Abitia & Correa, 2021).

Esta problemática se presenta en la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Ahuacatlán, donde durante varios años se ha generado un acervo importante de tesis pertenecientes a diferentes programas académicos. Aunque estos documentos

forman parte de la memoria científica institucional, una proporción considerable permanece disponible únicamente mediante consulta física, lo que limita su alcance y aumenta el riesgo de pérdida, deterioro o subutilización de la información.

Frente a este escenario, los avances recientes en Inteligencia Artificial Generativa (IAG) y Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) ofrecen nuevas posibilidades para transformar los repositorios tradicionales en sistemas capaces de analizar y organizar información de manera automatizada. Estas tecnologías permiten realizar tareas como extracción de metadatos, identificación de contenido relevante y recuperación eficiente de información, procesos fundamentales dentro de los sistemas de búsqueda documental y organización de recursos digitales (Weibel et al., 1998; Manning et al., 2008). Estas capacidades adquieren importancia debido al aumento constante de información digital, donde los métodos tradicionales de revisión y clasificación pueden ser insuficientes para manejar grandes volúmenes de documentos (Gandomi & Haider, 2015).

La aplicación de estas tecnologías depende del contexto donde serán implementadas. En universidades con recursos tecnológicos limitados, no basta con incorporar herramientas inteligentes; también deben analizarse las condiciones técnicas del lugar donde serán implementadas, incluyendo infraestructura disponible, mantenimiento y recursos institucionales.

A partir del diagnóstico realizado en la institución, se desarrolló Neurorepo, un repositorio institucional inteligente orientado a la gestión digital de tesis académicas en la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Ahuacatlán. Su diseño integra una arquitectura web basada en PHP y MySQL con herramientas de Inteligencia Artificial Generativa orientadas a la extracción automática de metadatos, asistencia académica mediante chatbot y recuperación eficiente de información, buscando mejorar la preservación, organización y acceso al conocimiento generado en contextos universitarios rurales.

2. METODOLOGÍA

El estudio se planteó desde un enfoque experimental-computacional porque fue necesario desarrollar el sistema y, posteriormente, evaluar su funcionamiento en un escenario real. Este enfoque permitió analizar el funcionamiento técnico del sistema y evaluar su interacción con los usuarios dentro del entorno donde sería utilizado.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se diseñó una metodología propia de carácter iterativo y prototipado. Durante el desarrollo se generaron diferentes versiones del sistema. Cada etapa permitió revisar el funcionamiento de los módulos, detectar errores y realizar ajustes antes de avanzar a una nueva versión. Este esquema permitió ajustar el desarrollo conforme aparecieron nuevos requerimientos y necesidades detectadas durante la construcción del sistema.

Los prototipos funcionales ayudaron a revisar desde etapas tempranas la arquitectura MVC, la experiencia de usuario y la integración de herramientas de IAG antes de la versión final del sistema. Esta forma de trabajo permitió realizar modificaciones conforme avanzaba el desarrollo, incorporando observaciones obtenidas durante las pruebas del sistema.

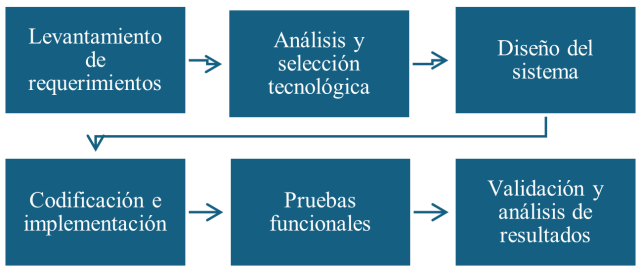


Figura 1
Metodología general del proyecto.
Nota. Elaboración propia (2026).

2.1 Diseño de la muestra y sujetos de estudio

La validación funcional del sistema se realizó con una muestra no probabilística por conveniencia, seleccionando participantes relacionados directamente con procesos de gestión de documentos académicos. Este tipo de muestreo es común en investigaciones aplicadas donde se requiere la participación de sujetos con perfiles específicos relacionados con el fenómeno de estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

La población estuvo conformada por 20 participantes pertenecientes a la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Ahuacatlán, integrados por docentes con grado de Doctorado, profesores investigadores y personal académico vinculado a procesos de revisión y titulación. La participación de estos usuarios permitió evaluar el sistema con personas que realizan actividades reales de consulta, revisión y gestión de documentos académicos dentro de la institución.

Tabla 1
Nivel académico de los participantes

Nivel académico	Frecuencia
Doctorado	8
Maestría	7
Licenciatura	5
Total	20

Nota. Elaboración propia (2026).

Tabla 2
Rol institucional de los participantes

Rol institucional principal	Frecuencia
Docentes	9
Investigadores	6
Revisores o asesores de tesis	5
Total	20

Nota. Elaboración propia (2026).

Los expertos fueron seleccionados porque su experiencia permitía valorar si el repositorio respondía a los problemas de consulta, organización y preservación documental identificados en la institución. Investigaciones previas señalan que las universidades localizadas en regiones rurales enfrentan mayores limitaciones en infraestructura tecnológica y acceso a plataformas digitales especializadas (Rodríguez-Abitia & Correa, 2021).

2.2 Instrumento de recolección de datos

Para el levantamiento de información se utilizó la plataforma Google Forms, debido a que facilitaba la aplicación del instrumento y permitía reunir las respuestas de los participantes en un solo espacio para su posterior análisis. El instrumento fue diseñado bajo una estructura mixta compuesta por preguntas de opción múltiple y reactivos basados en escala de Likert.

Se utilizó una escala de Likert debido a que permite cuantificar la percepción de los usuarios respecto a la usabilidad, satisfacción y desempeño tecnológico del sistema. Este tipo de escala es ampliamente utilizada en investigaciones relacionadas con evaluación de sistemas interactivos y análisis de experiencia de usuario.

El instrumento estuvo integrado por 15 reactivos distribuidos de la siguiente manera:

Cinco preguntas de opción múltiple orientadas a identificar perfiles de usuario, hábitos de consulta y dispositivos utilizados.

Diez reactivos basados en una escala de Likert de cinco niveles: Malo, Regular, Bueno, Muy Bueno y Excelente.

Los reactivos permitieron evaluar aspectos relacionados con: precisión de la extracción automatizada de metadatos, claridad de las respuestas generadas por el chatbot, facilidad de navegación, accesibilidad de la plataforma, eficiencia de búsqueda documental, desempeño general del sistema, y utilidad del repositorio institucional en procesos académicos.

El análisis de los datos se realizó mediante estadística descriptiva, utilizando frecuencias y valores promedio para interpretar la percepción de los usuarios sobre el sistema. Este análisis fue seleccionado porque permitió interpretar la aceptación inicial del sistema durante la evaluación realizada (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

2.2.1 Levantamiento de requerimientos

La primera fase estuvo orientada a identificar las necesidades institucionales relacionadas con preservación, organización y consulta de tesis académicas dentro de la universidad. El objetivo principal consistió en transformar problemáticas administrativas y documentales en requerimientos funcionales y técnicos para el desarrollo del repositorio inteligente.

Para ello se emplearon distintas técnicas de recopilación de información:

Lluvia de ideas, utilizada para identificar funciones prioritarias del sistema y analizar mecanismos de automatización mediante Inteligencia Artificial.

Entrevistas semiestructuradas, aplicadas a coordinadores académicos y personal administrativo para comprender el flujo de trabajo relacionado con recepción, almacenamiento y consulta de tesis.

Encuestas de necesidades, dirigidas a docentes y estudiantes para detectar dificultades asociadas con búsqueda de información académica y acceso documental.

Análisis documental, realizado sobre el acervo físico y digital existente para identificar estructuras comunes en los archivos PDF y determinar los metadatos requeridos para la clasificación de documentos.

A partir de estas técnicas se identificaron problemas relacionados con duplicidad de registros, pérdida de trazabilidad documental y dificultades en la consulta de antecedentes académicos. Estas dificultades reflejan la importancia de fortalecer los procesos de gestión documental universitaria mediante estrategias que permitan organizar y preservar adecuadamente la información institucional (Quindemil et al., 2021). Investigaciones previas han señalado que la falta de digitalización y organización documental puede afectar significativamente los procesos de preservación y acceso abierto en instituciones de educación superior (Umaña-Alpízar, 2015; Voutsas-Márquez, 2014).

Como resultado de esta fase se elaboró un documento de especificación de requerimientos funcionales y técnicos, definiendo roles de usuario, niveles de acceso, mecanismos de seguridad y funciones automatizadas basadas en Inteligencia Artificial.

2.2.2 Análisis de requerimientos y selección tecnológica

Una vez definidos los requerimientos funcionales, se realizó un análisis técnico orientado a seleccionar herramientas y tecnologías que ofrecieran estabilidad y fueran compatibles con la infraestructura disponible en la institución.

La elección de PHP y MySQL respondió a las condiciones reales de implementación identificadas durante el análisis inicial

del proyecto, donde se buscó priorizar compatibilidad con la infraestructura institucional existente, facilidad de mantenimiento y bajo consumo de recursos computacionales. Para la organización interna del sistema se adoptó el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC), el cual facilita la separación entre lógica de negocio, administración de datos e interfaz de usuario, favoreciendo la modularidad y mantenimiento del software. Este tipo de patrones arquitectónicos permite organizar sistemas complejos mediante estructuras reutilizables y mantenibles durante el ciclo de vida del software (Buschmann et al., 1996).

Para las funciones inteligentes se integró la API Gemini 1.5 Flash. Su selección respondió a la necesidad de incorporar un modelo capaz de procesar documentos académicos extensos y generar respuestas contextuales manteniendo tiempos de respuesta adecuados para una plataforma institucional. La incorporación de modelos de lenguaje de gran escala ha demostrado ser útil en tareas relacionadas con extracción automática de información, clasificación documental y generación de respuestas contextuales (Brown et al., 2020).

Como parte del entorno de desarrollo, se incorporaron herramientas complementarias como Composer para la gestión de dependencias y PHPMailer para el envío automatizado de notificaciones institucionales. Además, se implementaron mecanismos de seguridad mediante archivos .htaccess y variables de entorno para proteger credenciales y restringir accesos no autorizados.

2.2.3 Diseño del sistema

En esta fase se definió la estructura lógica, funcional y visual del repositorio institucional. El diseño contempló tres componentes principales: (a) arquitectura de software basada en MVC, (b) diseño de base de datos relacional, y (c) diseño de interfaz centrada en experiencia de usuario (UX/UI).

La base de datos fue estructurada bajo el motor InnoDB de MySQL, permitiendo mantener integridad referencial mediante relaciones entre tablas correspondientes a usuarios, tesis, carreras, asesores y registros de actividad. La estructura también incorporó mecanismos de trazabilidad y auditoría para registrar las operaciones realizadas dentro del sistema.

Respecto al diseño visual, se utilizó Bootstrap para desarrollar una interfaz responsiva adaptable a dispositivos móviles y computadoras de escritorio. El diseño consideró principios centrados en el usuario, debido a que la facilidad de interacción influye directamente en la aceptación y uso efectivo de los sistemas tecnológicos (Norman, 2013). Esta característica fue considerada durante el desarrollo de Neurorepo, ya que en contextos con limitaciones de conectividad la accesibilidad de las plataformas digitales influye directamente en su adopción y uso (Rodríguez-Abitia & Correa, 2021).

2.2.4 Codificación e implementación

En esta etapa se desarrollaron los módulos funcionales del sistema utilizando PHP nativo, JavaScript y MySQL. La implementación incluyó procesos de autenticación, administración de usuarios, carga documental, visualización de tesis y automatización inteligente mediante IA generativa.

Uno de los componentes principales fue el desarrollo del módulo de extracción automatizada de metadatos. Durante las primeras pruebas del sistema se identificó que la captura manual de información representaba uno de los principales puntos de demora en la organización documental; por ello, el módulo fue orientado a automatizar la extracción de títulos, autores, resúmenes y palabras clave mediante técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN). La literatura especializada muestra que las técnicas de minería de texto y PLN permiten optimizar tareas relacionadas con análisis, clasificación y recuperación documental automatizada (Liu, 2012; Miner et al., 2012; Boukhers & Bouabdallah, 2022).

A partir de las necesidades observadas durante el diseño del repositorio, se incorporó un chatbot asistencial como un mecanismo de apoyo para reducir la dependencia de búsquedas manuales y facilitar la interacción del usuario con los documentos almacenados. La comunicación con el modelo de IA se realizó mediante endpoints dinámicos y respuestas estructuradas en formato JSON.

Para reforzar la seguridad del sistema, se implementaron mecanismos orientados a restringir accesos no autorizados, proteger la integridad de los documentos y reducir vulnerabilidades relacionadas con inyección SQL y exposición de credenciales, siguiendo recomendaciones generales de desarrollo seguro en aplicaciones web (Pressman & Maxim, 2020).

3. RESULTADOS

Con Neurorepo se evaluó la aplicación de herramientas de IAG en procesos reales de organización y recuperación documental dentro de la universidad analizada. Durante las pruebas, el sistema funcionó de manera estable y los participantes mostraron una valoración positiva de las herramientas implementadas.

Durante las pruebas funcionales se verificó el correcto desempeño de los módulos relacionados con autenticación de usuarios, almacenamiento de tesis, visualización documental, generación automatizada de metadatos y asistencia conversacional mediante IA. Las pruebas también permitieron comprobar la compatibilidad del sistema con distintos dispositivos y navegadores, manteniendo estabilidad en los procesos de carga, consulta y administración de información académica sin registrar fallos críticos durante la evaluación.

Las respuestas obtenidas por parte de los expertos académicos mostraron una buena aceptación de las funciones automatizadas implementadas en Neurorepo. Particularmente, la identificación automática de títulos académicos mediante Inteligencia Artificial presentó predominancia de respuestas en las categorías “Excelente” y “Muy Bueno”, alcanzando conjuntamente el 80 % de las valoraciones obtenidas. La evaluación refleja una aceptación positiva del sistema para apoyar tareas de extracción documental automatizada.

Tabla 3
Percepción sobre la precisión de extracción automática de metadatos

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Excelente	10	50 %
Muy Bueno	6	30 %
Bueno	4	20 %
Regular	0	0 %
Total	20	100 %

Nota. Datos obtenidos mediante el instrumento de evaluación aplicado a los participantes.

Durante la evaluación se observó que uno de los principales beneficios percibidos por los usuarios fue la reducción del trabajo manual asociado con la búsqueda, clasificación y consulta de tesis académicas mediante la generación automática de resúmenes y metadatos. Este comportamiento coincide con investigaciones recientes relacionadas con Procesamiento de Lenguaje Natural y automatización documental, donde se destaca que los modelos de lenguaje pueden optimizar procesos administrativos y mejorar la recuperación de información académica (Kowsari et al., 2019; Brown et al., 2020).

Respecto al chatbot institucional, los participantes indicaron que las respuestas generadas mostraron niveles adecuados de claridad, coherencia y utilidad durante los procesos de consulta. Este resultado coincide con el desarrollo reciente de agentes conversacionales, los cuales buscan facilitar la interacción humano-computadora mediante interfaces basadas en lenguaje natural (McTear, 2020). La evaluación de este módulo mostró nuevamente predominancia de categorías positivas, donde el 90 % de los participantes calificó el desempeño general entre “Excelente” y “Muy Bueno”, lo que refleja una buena recepción de los usuarios hacia el uso de asistentes conversacionales dentro de plataformas universitarias.

Tabla 4
Evaluación del desempeño del chatbot institucional

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Excelente	12	60 %
Muy Bueno	6	30 %
Bueno	2	10 %
Regular	0	0 %
Total	20	100 %

Nota. Resultados obtenidos durante la evaluación funcional del sistema.

Los participantes valoraron positivamente el uso del repositorio dentro del entorno institucional evaluado. Además, se consideró que la plataforma contribuye al fortalecimiento del acceso digital, la preservación académica y la organización documental dentro de la universidad. Este punto es especialmente importante en instituciones rurales, donde la digitalización documental y el acceso a herramientas especializadas todavía representan retos cotidianos (Rodríguez-Abitia & Correa, 2021).

Durante las pruebas técnicas se observó que el sistema conservó funciones esenciales de almacenamiento y consulta documental aún bajo condiciones limitadas de conectividad. Esto indica que la arquitectura utilizada logró mantener las funciones principales del repositorio aun cuando existieron limitaciones técnicas durante las pruebas.

El análisis descriptivo de las respuestas permitió identificar una valoración global favorable del sistema. La media general obtenida en los reactivos tipo Likert fue de 4.5 sobre 5, lo que refleja una valoración positiva de los usuarios sobre la funcionalidad, accesibilidad y utilidad académica del repositorio institucional.

Tabla 5
Estadísticos descriptivos de evaluación del sistema

Variable	Media	DE
Precisión de extracción automática	4.6	0.52
Claridad del chatbot	4.4	0.61
Facilidad de navegación	4.5	0.49
Utilidad académica	4.7	0.44

Nota. Elaboración propia (2026).

La evaluación también permitió identificar áreas que pueden fortalecerse, principalmente en los tiempos de respuesta y en algunos procesos automatizados del sistema. Aunque todavía existen aspectos por mejorar, los participantes evaluaron positivamente el funcionamiento general del repositorio, mostrando que este tipo de sistemas puede aplicarse en instituciones educativas rurales.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con Neurorepo muestran que la inteligencia artificial puede incorporarse a procesos reales de gestión documental universitaria, especialmente cuando existe una necesidad concreta de organizar grandes cantidades de información académica. El propósito del sistema no se limitó a digitalizar archivos existentes, sino a explorar una forma diferente de organizar y consultar la producción académica generada dentro de la universidad mediante técnicas de Inteligencia Artificial Generativa.

Durante la evaluación destacó principalmente el comportamiento del módulo de extracción automática de metadatos, donde el 80 % de los participantes evaluó su funcionamiento dentro de las categorías “Excelente” y “Muy Bueno”. Este resultado fue consistente con la problemática observada al inicio del proyecto, donde el registro y organización de tesis requería una intervención manual considerable. La incorporación de técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural redujo parte de estas actividades y facilitó la clasificación inicial de los documentos almacenados.

Esto permitió que el sistema atendiera una necesidad detectada durante el diagnóstico inicial del proyecto: reducir el tiempo requerido para registrar y clasificar documentos académicos de forma manual.

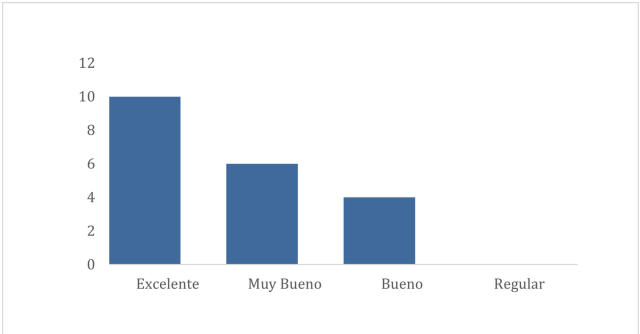


Figura 2
Precisión percibida en la extracción automática de metadatos.
Nota. Elaboración propia con datos obtenidos mediante Google Forms (2026).

Una explicación de este comportamiento puede relacionarse con lo reportado por Kowsari et al. (2019), quienes describen que las técnicas de PLN han mejorado los procesos de clasificación textual mediante la identificación automática de patrones en grandes conjuntos de datos. Sin embargo, en el contexto de esta investigación, el principal aporte no radica únicamente en aplicar modelos inteligentes, sino en adaptarlos a una necesidad institucional específica relacionada con la preservación y reutilización de producción académica local.

En el caso del chatbot académico, los usuarios evaluaron positivamente la claridad y utilidad de las respuestas generadas,

obteniendo un 90 % de valoraciones dentro de las categorías más altas de aceptación. Este resultado evidencia que los asistentes conversacionales pueden representar un mecanismo complementario para mejorar la interacción entre los usuarios y los repositorios digitales, al permitir consultas más cercanas al lenguaje natural en lugar de depender exclusivamente de búsquedas mediante palabras clave.

Estos resultados mantienen relación con los avances reportados en modelos de lenguaje contextualizados, donde se ha demostrado que las arquitecturas basadas en aprendizaje profundo pueden mejorar la interpretación semántica del texto y la generación de respuestas asociadas a una consulta específica (Devlin et al., 2019; Brown et al., 2020). A pesar de estos avances, estos sistemas todavía requieren procesos académicos de revisión y validación documental, por lo que su función principal se orienta al apoyo en la recuperación y organización de información.

La decisión de utilizar PHP y MySQL respondió principalmente a las condiciones tecnológicas encontradas durante el desarrollo del proyecto. Aunque existen plataformas especializadas para repositorios digitales, se buscó una alternativa que pudiera mantenerse con los recursos disponibles dentro de la institución.

Aunque actualmente existen plataformas especializadas para repositorios digitales, muchas requieren infraestructura técnica, recursos económicos o personal especializado para su administración. Bajo estas condiciones, Neurorepo muestra que es posible implementar soluciones institucionales adaptadas a escenarios donde la disponibilidad tecnológica puede representar una limitante. En escenarios con restricciones de infraestructura, el diseño de sistemas eficientes y de bajo consumo computacional resulta relevante para acercar capacidades digitales avanzadas a los usuarios finales (Satyanarayanan, 2017). Esta decisión tecnológica buscó equilibrar la incorporación de herramientas avanzadas de IA con las restricciones propias del entorno donde sería utilizado el sistema.

La media general obtenida en la escala de Likert fue de 4.5 sobre 5. Este valor muestra una aceptación favorable del sistema por parte de los usuarios evaluados; sin embargo, debe interpretarse como una validación funcional inicial, ya que la muestra estuvo conformada por un grupo específico de usuarios con experiencia académica y no representa una evaluación generalizada de toda la comunidad universitaria.

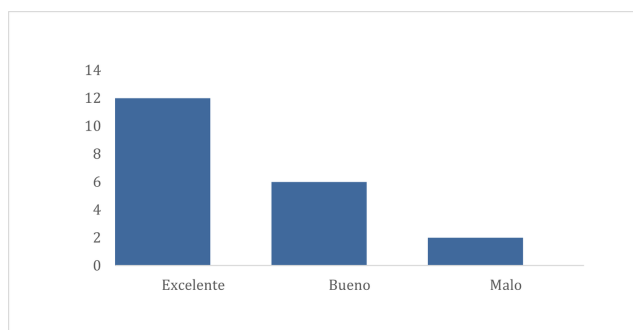


Figura 3

Percepción del impacto institucional de Neurorepo.

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos mediante Google Forms (2026).

Durante el desarrollo de Neurorepo se identificó una limitación relacionada con el uso de servicios externos de Inteligencia Artificial para algunas funciones de análisis documental. Esta experiencia mostró la necesidad de conservar una etapa de revisión humana, debido a que las respuestas generadas por IA pueden requerir validación académica (Bender et al., 2021). Asimismo, la calidad de los documentos digitalizados influye directamente en la precisión de extracción automática, especialmente cuando existen archivos con baja resolución o formatos poco estructurados.

La experiencia obtenida durante la implementación de Neurorepo mostró que el uso de Inteligencia Artificial en repositorios institucionales puede apoyar la reducción de brechas tecnológicas en comunidades educativas rurales. Este enfoque coincide con la visión de desarrollo digital orientado a reducir desigualdades mediante soluciones tecnológicas adaptadas al contexto social donde serán implementadas (Heeks, 2018). La relevancia de este enfoque no se limita únicamente a mejorar procesos administrativos, sino a evitar que el conocimiento generado dentro de estas instituciones permanezca aislado o con poca visibilidad debido a la falta de herramientas adecuadas para su gestión.

4.1 Limitaciones de la investigación

Aunque las pruebas realizadas mostraron un funcionamiento adecuado del sistema, durante el proceso se identificaron algunas limitaciones técnicas y metodológicas. Durante la implementación de Neurorepo se identificó que la dependencia parcial de servicios externos de Inteligencia Artificial representa una limitación para ejecutar funciones avanzadas de extracción automática de metadatos y asistencia conversacional. En escenarios donde la conectividad a internet es limitada o inestable, el sistema mantiene únicamente funciones básicas relacionadas con almacenamiento y consulta documental.

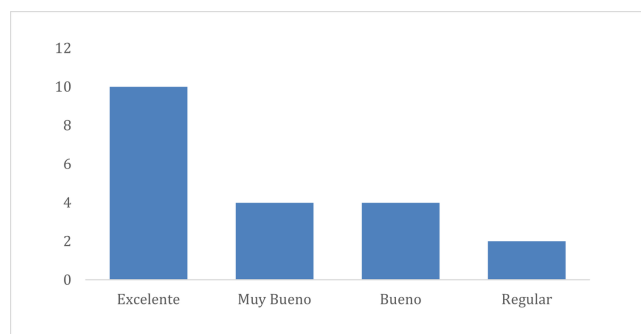


Figura 4
Evaluación de la coherencia y calidad del resumen generado por IA.

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos mediante Google Forms (2026).

La mayoría de los evaluadores calificó favorablemente la claridad y coherencia de los resúmenes generados automáticamente por el sistema.

La calidad de los documentos procesados también influyó en el desempeño del módulo de extracción automatizada, ya que problemas como baja resolución, formatos irregulares o errores de escaneo pueden afectar la identificación correcta de autores, títulos y resúmenes académicos.

El alcance de la validación también estuvo condicionado por el tamaño de la muestra utilizada durante la evaluación funcional del sistema. Aunque los participantes contaban con experiencia académica y perfiles especializados, la evaluación se enfocó principalmente en analizar el funcionamiento inicial del sistema, por lo que será necesario ampliar la muestra en futuros estudios antes de establecer una generalización estadística de los resultados.

4.2 Comparación con otros trabajos

Al contrastar Neurorepo con investigaciones relacionadas se encontraron similitudes en el uso de Inteligencia Artificial y PLN dentro de procesos documentales. La diferencia principal del sistema desarrollado se encuentra en su aplicación directa dentro de una institución con necesidades específicas de preservación y consulta de tesis académicas.

Las mejoras observadas en los procesos de extracción automática de metadatos se relacionan con los planteamientos de Kowsari et al. (2019), quienes destacan la capacidad de los modelos basados en PLN para identificar patrones y clasificar información textual. En el caso de Neurorepo, esta capacidad fue aplicada para disminuir la dependencia de registros manuales y facilitar la organización de documentos académicos generados dentro de la universidad.

La incorporación de un asistente conversacional también refleja la evolución de los sistemas tradicionales de búsqueda hacia mecanismos de interacción basados en lenguaje natural. Investigaciones como las de Devlin et al. (2019) y Brown et al. (2020)

han demostrado que los modelos de lenguaje pueden mejorar la interpretación contextual de consultas textuales. Los resultados obtenidos durante la evaluación del chatbot muestran una aplicación práctica de estas capacidades dentro de un repositorio académico, permitiendo que los usuarios interactúen con la información mediante consultas más flexibles.

La arquitectura web ligera utilizada en Neurorepo representó una diferencia importante frente a plataformas que requieren mayor infraestructura especializada. Aunque existen soluciones robustas para gestión documental, el desarrollo de Neurorepo buscó equilibrar funcionalidades inteligentes con las condiciones tecnológicas disponibles en una institución rural. Este enfoque coincide con los planteamientos de Rodríguez-Abitia y Correa (2021), quienes destacan la importancia de adaptar los procesos de transformación digital a las características particulares de las instituciones educativas latinoamericanas.

Estos resultados muestran que el aporte principal de Neurorepo va más allá de incorporar herramientas de Inteligencia Artificial, ya que busca resolver una necesidad concreta de organización y acceso al conocimiento académico.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo y evaluación de Neurorepo mostró que las herramientas de IA generativa pueden integrarse en repositorios académicos incluso en escenarios con limitaciones tecnológicas. Las pruebas realizadas indican que una arquitectura web ligera, combinada con herramientas de Procesamiento de Lenguaje Natural, puede apoyar la organización, consulta y recuperación de tesis digitales sin requerir infraestructura compleja.

La evaluación realizada con usuarios vinculados a procesos académicos evidenció una percepción favorable respecto al funcionamiento del sistema, principalmente en las tareas relacionadas con extracción automática de metadatos y asistencia mediante chatbot. Los resultados obtenidos muestran que los modelos inteligentes pueden disminuir tareas repetitivas relacionadas con la clasificación documental y facilitar nuevas formas de interacción con repositorios académicos.

La implementación de Neurorepo permitió observar que uno de los desafíos en instituciones rurales no se encuentra únicamente en digitalizar documentos, sino en lograr que la información almacenada pueda ser localizada y utilizada de manera efectiva. Por ello, el desarrollo del repositorio se orientó hacia una solución ajustada a las condiciones reales de la institución, priorizando el acceso y aprovechamiento de la producción académica generada localmente. Bajo este enfoque, Neurorepo representa una propuesta orientada a recuperar, organizar y hacer más accesible la producción académica generada dentro de la propia institución. La elección de una arquitectura basada en PHP, MySQL e integración con servicios de Inteligencia Artificial respondió a la necesidad de equilibrar funcionalidades

inteligentes con una implementación viable en un entorno institucional con recursos tecnológicos limitados. Durante el desarrollo del proyecto se observó que la aplicación de IA en un entorno educativo rural no depende únicamente de utilizar tecnologías avanzadas, sino de adaptar dichas herramientas a problemas concretos y a las condiciones disponibles de la institución. Este aspecto puede beneficiar principalmente a instituciones que buscan implementar herramientas digitales sin depender de infraestructura tecnológica compleja.

Los resultados deben interpretarse considerando el alcance del estudio y las condiciones en las que se evaluó el Sistema. La validación realizada corresponde a una evaluación funcional inicial con una muestra específica de participantes, por lo que futuras investigaciones deberán ampliar el número de usuarios evaluados, incorporar métricas de rendimiento computacional y analizar el comportamiento del sistema durante periodos prolongados de uso institucional.

Como siguiente etapa del proyecto, se plantea fortalecer Neurorepo mediante modelos de búsqueda semántica avanzada, recomendación automática de documentos y análisis inteligente de producción académica. Los próximos desarrollos permitirán evaluar el crecimiento de Neurorepo como una herramienta de apoyo para la gestión del conocimiento académico generado dentro de la universidad. Con ello, se busca fortalecer el acceso al conocimiento académico y apoyar el desarrollo de herramientas digitales más inclusivas dentro de los entornos educativos (UNESCO, 2021).

ANEXO A: INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN APLICADO A EXPERTOS

Reactivo	Escala
Precisión de identificación de metadatos	Malo–Excelente
Coherencia del resumen generado	Malo–Excelente
Calidad de palabras clave sugeridas	Malo–Excelente
Normalización APA automática	Malo–Excelente
Precisión de extracción textual	Malo–Excelente

Figura A1
Instrumento de evaluación aplicado a expertos.
Nota. Elaboración propia (2026).

Reactivo	Escala
Utilidad del flujo de trabajo	Malo–Excelente
Facilidad del panel administrativo	Malo–Excelente
Utilidad institucional	Malo–Excelente
Impacto académico esperado	Malo–Excelente
Recomendación del sistema	Malo–Excelente

Figura A2
Evaluación de utilidad e impacto del sistema.
Nota. Elaboración propia (2026).

Evalúe el rendimiento de las funciones de IA de Neurorepo. *

	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno	Excelente
¿Qué tan precisa considera la identificación automática del título del proyecto por la IA?	☐	☐	☐	☐	☐
¿La redacción y coherencia del resumen generado por ...					

Figura A3
Instrumento de evaluación implementado mediante Google Forms para validar Neurorepo.
Nota. Captura del instrumento utilizado para la validación funcional (2026).

ANEXO B: INTERFACES PRINCIPALES DE NEUROREPO



Figura B1
Pantalla principal del repositorio institucional.
Nota. Interfaz principal de Neurorepo (2026).



Figura B2
Módulo de carga de tesis PDF.
Nota. Módulo de carga documental implementado en el sistema (2026).

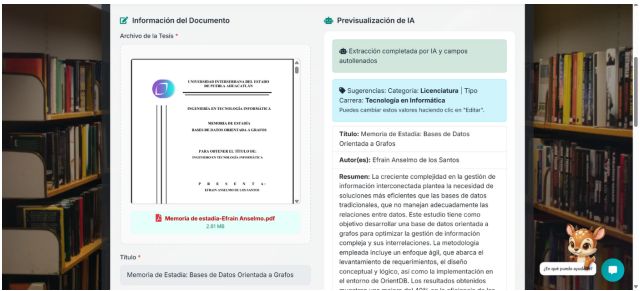


Figura B3
Extracción automática de metadatos.
Nota. Proceso automatizado de identificación de autores, títulos y palabras clave (2026).



Figura B4
Chatbot institucional.

Nota. Asistente conversacional implementado para consulta académica (2026).

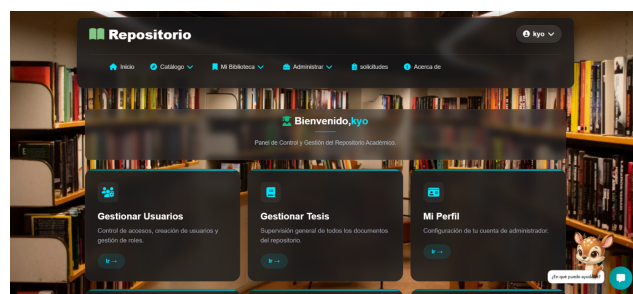


Figura B5
Panel administrativo.

Nota. Módulo administrativo para la organización y control de tesis académicas (2026).

REFERENCIAS

- Balvín-Sánchez, E. M., Luis-Rojas, S., & Anselmo-De los Santos, E. (2026). Retos y desafíos en el aprendizaje de la programación: un análisis en estudiantes de ciencias computacionales de la Sierra Norte del estado de Puebla, México. *Acta Universitaria*, 36, e4517. <https://doi.org/10.15174/au.2026.4517>
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 610–623. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Borgman, C. L. (2010). *Scholarship in the digital age: Information, infrastructure, and the Internet*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/7434.001.0001>
- Boukhers, Z., & Bouabdallah, A. (2022). Vision and natural language for metadata extraction from PDF documents: A multimodal approach. *Proceedings of the ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3529372.3533295>
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165>
- Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., & Stal, M. (1996). *Pattern-oriented software architecture: A system of patterns*. Wiley. <https://doi.org/10.5555/249013>
- Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT 2019*, 4171–4186. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805>
- Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>
- Heeks, R. (2018). ICT4D 3.0? Part 1 – The components of an emerging “digital-for-development” paradigm. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 86(3), 1–14. <https://doi.org/10.1002/isd2.12124>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Kowsari, K., Meimandi, K. J., Heidarysafa, M., Mendu, S., Barnes, L., & Brown, D. (2019). Text classification algorithms: A survey. *Information*, 10(4), 150. <https://doi.org/10.3390/info10040150>
- Liu, B. (2012). *Sentiment analysis and opinion mining*. Morgan & Claypool Publishers. <https://doi.org/10.2200/S00416ED1V01Y201204HLT016>
- Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to information retrieval*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511809071>
- McTear, M. F. (2020). *Conversational AI: Dialogue systems, conversational agents, and chatbots*. Morgan & Claypool Publishers. <https://doi.org/10.2200/S01060ED1V01Y202010HLT048>
- Miner, G., Elder, J., Fast, A., Hill, T., Nisbet, R., & Delen, D. (2012). *Practical text mining and statistical analysis for non-structured text data applications*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-66188-8>
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things (Revised and expanded edition)*. Basic Books. <https://jnd.org/books/the-design-of-everyday-things-revised-and-expanded-edition/>
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach (9th ed.)*. McGraw-Hill.
- Quindemil Torrijo, E. M., Zambrano Plúa, I. E., & Rumbaut León, F. (2021). Gestión documental en universidades: Una mirada desde Latinoamérica. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(Especial), 108–119. <https://doi.org/10.33936/rehuso.v6iEspecial.3779>
- Rodríguez-Abitia, G., & Correa, F. (2021). Digital divide in higher education institutions in Latin America. *Education and Information Technologies*, 26(3), 3177–3199. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10371-7>
- Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1), 30–39. <https://doi.org/10.1109/MC.2017.9>
- Suber, P. (2012). *Open access*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9286.001.0001>
- Umaña-Alpízar, J. (2015). Los repositorios institucionales y el acceso abierto al conocimiento científico en universidades latinoamericanas. *Revista e-Ciencias de la Información*, 5(2), 1–15. <https://doi.org/10.15517/eci.v5i2.19052>
- UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000037970>
- Voutsas-Márquez, J. (2014). Estrategias de conservación y preservación de archivos digitales: elementos técnicos. *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*. https://ibi.unam.mx/voutsasmt/documentos/archivos_digitales_3_corto.pdf
- Weibel, S., Kunze, J., Lagoze, C., & Wolf, M. (1998). Dublin Core metadata for resource discovery. *Internet Engineering Task Force (IETF)*. <https://doi.org/10.17487/RFC2413>



ARTÍCULO ORIGINAL · CULTURA, TURISMO Y DESARROLLO LOCAL

Maíces nativos como alternativa de gestión local para seguridad alimentaria, salud y desarrollo del Valle Texmeluquense

Cecilia Romero-Alonso^{1*}

¹ Investigadora independiente

* Autor(a) por correspondencia: cecyalonso70@gmail.com · ORCID: 0009-0000-5452-7025

RESUMEN

El objetivo del estudio es diseñar una propuesta de gestión local con identidad biocultural, construida de manera participativa, para la conservación, valorización y revitalización de los maíces nativos en el Valle Texmeluquense (San Lorenzo Chiautzingo, San Salvador el Verde y San Martín Texmelucan), orientada al fortalecimiento de la seguridad alimentaria, salud comunitaria y desarrollo regional sostenible. Metodológicamente, el estudio se sustenta en un enfoque cualitativo de carácter exploratorio-descriptivo con perspectiva etnográfica, articulado mediante entrevistas semiestructuradas en profundidad, relatos de vida, observación participante y recorridos de campo. La muestra intencional estuvo conformada por tres actores clave (uno por municipio), seleccionados por su experiencia en producción, conservación y uso culinario de maíces nativos: agricultor campesino custodio de semillas, productor-transformador vinculado a ferias campesinas y cocinera tradicional. Los resultados evidencian que, pese al acelerado proceso de urbanización, la globalización agroalimentaria y el desplazamiento de variedades locales por monocultivos e híbridos mejorados, persisten al menos ocho variedades de maíz nativo con atributos simbólicos, agronómicos y nutricionales relevantes. Asimismo, se documenta la vigencia de saberes tradicionales intergeneracionales asociados al manejo, selección y resguardo de semillas, así como una incipiente pero frágil articulación con circuitos agroalimentarios locales y usos significativos en la dieta, particularmente de maíces de colores, con potencial para impulsar estrategias de seguridad alimentaria, salud comunitaria y economía solidaria. Con estos hallazgos, se propone el Modelo de Gestión Biocultural del Maíz Nativo del Valle Texmeluquense (MGBMNVT), estructurado en cuatro ejes estratégicos: gobernanza comunitaria para la preservación de semillas, educación agroalimentaria intercultural, fortalecimiento de mercados territoriales de proximidad y consolidación de redes de salud alimentaria. Se concluye que la recuperación de los maíces nativos trasciende la conservación genética, constituyéndose en una alternativa viable de desarrollo territorial con pertinencia biocultural, científica y política, y con alto potencial de replicabilidad en territorios rurales con presiones estructurales similares.

Palabras clave: *patrimonio biocultural; saberes tradicionales; soberanía alimentaria; territorio Texmeluquense; Zea mays L.*

ABSTRACT

This study proposes a locally grounded biocultural management framework, collaboratively developed to support the conservation, valorization, and revitalization of native maize landraces in the Texmelucan Valley, Puebla, Mexico (San Lorenzo Chiautzingo, San Salvador el Verde, and San Martín Texmelucan). The initiative seeks to strengthen food security, community health, and sustainable regional development through the recovery of agrobiocultural heritage. Methodologically, the research adopts a qualitative exploratory-descriptive design with an ethnographic perspective, integrating in-depth semi-structured interviews, life histories, participant observation, and field visits. Purposive sampling was employed to select three key actors—one from each municipality—whose trajectories are closely linked to the production, conservation, and culinary use of native maize varieties: a peasant seed custodian, a producer-processor engaged in local farmers' markets, and a traditional cook. Findings reveal that, despite accelerated urban expansion, the pressures of agri-food globalization, and the displacement of local varieties by monoculture systems and improved hybrid seeds, at least eight native maize landraces remain in circulation, preserving significant symbolic, agronomic, and nutritional attributes. The study also documents the persistence of intergenerational traditional knowledge related to seed selection, storage, and crop management, alongside an emerging yet fragile articulation with localized agri-food circuits and culturally meaningful dietary practices, particularly involving colored maize varieties. These dynamics demonstrate substantial potential for advancing food sovereignty, community-based nutrition strategies, and solidarity-based rural economies. Based on these findings, the study introduces the Biocultural Management Model for Native Maize in the Texmelucan Valley (MGBMNVT), structured around four strategic dimensions: community governance for seed preservation, intercultural agri-food education, strengthening of territorial proximity markets, and the consolidation of food-health networks. The study concludes that the recovery of native maize extends beyond the preservation

of genetic resources, constituting a viable pathway toward territorially rooted development with biocultural, scientific, and political relevance, while offering strong potential for replication in rural regions facing comparable structural pressures.

Keywords: *biocultural heritage; traditional knowledge; food sovereignty; Texmelucan Valley territory; Zea mays L.*

Cómo citar: Romero-Alonso, C. (2026). Maíces nativos como alternativa de gestión local para seguridad alimentaria, salud y desarrollo del Valle Texmeluquense. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 35–42.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. **CC BY-NC 4.0**

INTRODUCCIÓN

A pesar de los avances en el estudio de los maíces nativos, persiste una separación entre la caracterización técnica de las razas, el análisis de los sistemas de semillas y el estudio de las prácticas alimentarias, culturales y territoriales. En particular, son limitados los trabajos que integran evidencia etnográfica con una propuesta de gestión territorial en el área de estudio. La presente investigación aborda este vacío mediante un estudio cualitativo de casos múltiples en tres municipios del Valle Texmeluquense. Su objetivo es diseñar una propuesta de gestión local con identidad biocultural para la conservación, valorización y aprovechamiento de los maíces nativos, orientada al fortalecimiento de la seguridad alimentaria, la salud comunitaria y el desarrollo regional sostenible.

El Valle Texmeluquense enfrenta presiones asociadas con la expansión urbana, la actividad industrial, los cambios en las prácticas agrícolas y las transformaciones en el consumo de alimentos. Estos procesos pueden reducir los espacios destinados a sistemas agrícolas tradicionales y dificultar la transmisión intergeneracional de conocimientos. Sin embargo, la presencia de maíces nativos y de prácticas asociadas a su manejo muestra que la conservación continúa activa en determinados contextos locales.

Desde la agroecología, los sistemas de semillas nativas pueden contribuir a la resiliencia al conservar recursos genéticos adaptados localmente y favorecer prácticas agrícolas diversificadas (Altieri, 2018). Desde la perspectiva de la soberanía alimentaria, el control comunitario de semillas y prácticas alimentarias también se relaciona con la autonomía de los territorios y con la capacidad de las poblaciones rurales para definir sus propios sistemas alimentarios (Patel, 2009). Estos enfoques permiten interpretar la relevancia territorial del maíz nativo sin asumir que su conservación produce automáticamente beneficios económicos o sanitarios.

En Puebla, López-Morales et al. (2023) identificaron 14 razas nativas y documentaron diferencias importantes en las características físicas del grano y en la calidad de la tortilla. Este antecedente proporciona un referente técnico para interpretar la

diversidad de maíces del estado. El presente estudio aborda una dimensión distinta y complementaria: las prácticas sociales mediante las cuales determinados tipos locales de maíz son producidos, conservados, utilizados y valorados. La evidencia etnográfica, por tanto, no sustituye la caracterización genética o agronómica, sino que aporta información sobre manejo y significado cultural.

México es centro de origen y diversificación del maíz y las variedades nativas continúan estrechamente vinculadas con la agricultura campesina. Bellon et al. (2021) muestran que la producción campesina contribuye no solo al autoconsumo, sino también al abastecimiento y conservación *in situ* de maíces nativos mediante el ahorro e intercambio de semillas y su relación con mercados locales. Este planteamiento resulta pertinente para el presente estudio porque permite comprender la conservación de semillas y los circuitos alimentarios como procesos relacionados. A su vez, investigaciones desarrolladas en otras regiones mexicanas muestran que las estrategias de conservación varían según condiciones ecológicas, económicas y culturales, por lo que resulta necesario evitar generalizaciones a partir de un único territorio (Bellon y Brush, 1994; Rivera López et al., 2020).

En el contexto actual de transformación de los sistemas agroalimentarios, caracterizado por la intensificación agrícola, la integración de mercados, el cambio de uso del suelo y la homogeneización de las dietas, la conservación de los maíces nativos adquiere relevancia para la seguridad alimentaria, la agrobiodiversidad y la sostenibilidad territorial (FAO, 2021; Altieri, 2018). En México, el maíz constituye además un componente central del patrimonio biocultural, debido a que su cultivo, selección de semillas, preparación e intercambio se encuentran vinculados con conocimientos y prácticas locales (CONABIO, 2020; Sarukhán et al., 2015).

METODOLOGÍA

Tipo de estudio

El estudio se desarrolla bajo un enfoque cualitativo de corte exploratorio-descriptivo con perspectiva etnográfica para el análisis de sistemas bioculturales, orientado a documentar si aún se producen, conservan y consumen maíces nativos en tres

comunidades rurales del Valle Texmeluquense (Figura 1), para generar una alternativa de gestión local biocultural para seguridad alimentaria, salud y desarrollo. El enfoque cualitativo permite analizar prácticas, cosmovisiones campesinas, significados y dinámicas socioculturales desde la perspectiva de los actores territoriales, priorizando la profundidad interpretativa sobre la generalización estadística (Martínez-Salgado, 2012). La perspectiva etnográfica es adecuada para el análisis de saberes

locales y prácticas agrícolas tradicionales, en tanto el investigador comparte el contexto cotidiano de los actores para comprender sus lógicas desde dentro. No obstante, para contextualizar el territorio de estudio se incorporaron datos generales provenientes de SIAP e INEGI sobre superficie sembrada y relevancia agrícola regional, utilizados únicamente como referencia contextual y no como base del análisis.

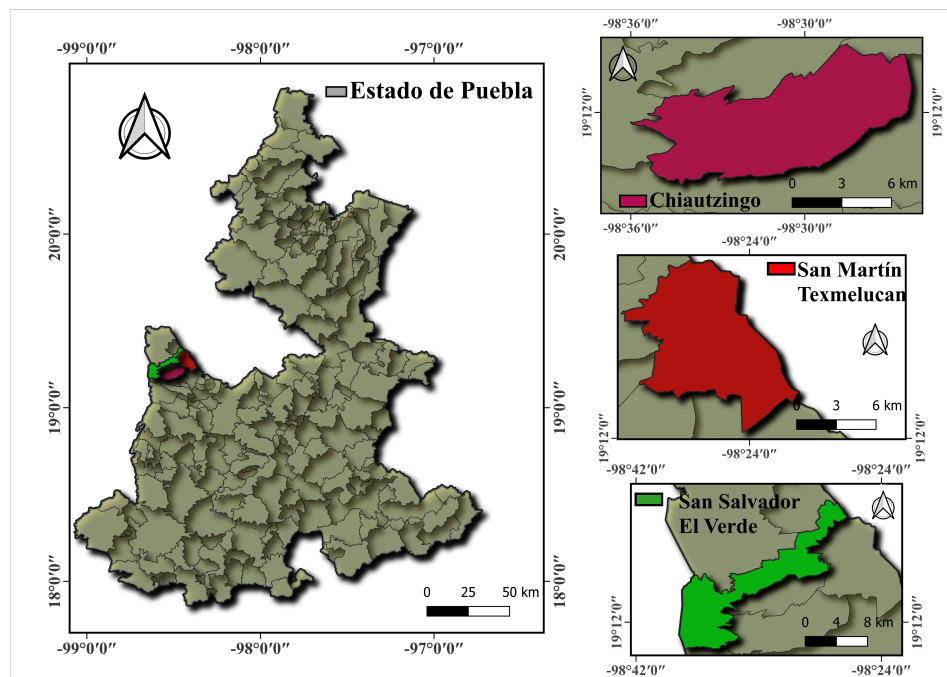


Figura 1

Localización geográfica de las tres comunidades de estudio.

Nota. Elaboración: Seth Galindo Juárez con el Sistema de Información Geográfica, utilizando el software QGIS.

Diseño

Se adopta un diseño de estudio de caso múltiple, considerando como unidades de análisis tres casos territoriales vinculados con actores clave de San Lorenzo Chiautzingo, San Salvador el Verde y San Martín Texmelucan. La selección de un actor por municipio responde al propósito exploratorio-etnográfico de documentar experiencias informativas y contrastar prácticas situadas, no a representar estadísticamente a la población municipal. Los perfiles son distintos de manera deliberada, porque permiten observar funciones complementarias dentro del sistema biocultural: custodia de semillas, transformación y comercialización, y preparación y transmisión de saberes culinarios. La comparación se realiza, por tanto, por dimensiones analíticas comunes —manejo de semillas, usos, vínculos alimentarios y relaciones territoriales— y no mediante una comparación de equivalencia ocupacional. Esta delimitación evita atribuir al conjunto del municipio las prácticas expresadas por un solo actor.

Población y muestra

La población de estudio está constituida por actores locales relacionados con la producción, conservación, manejo y consumo de maíces nativos en el Valle Texmeluquense, específicamente en San Lorenzo Chiautzingo, San Salvador el Verde y San Martín Texmelucan. Se emplea un muestreo no probabilístico de tipo intencional por criterios, seleccionando tres participantes, uno por comunidad, con base en: i. experiencia documentada en el manejo y conservación de maíces nativos; ii. reconocimiento comunitario como actor relevante en la producción de maíces nativos o en la gastronomía tradicional; iii. participación en prácticas agrícolas, culinarias o iniciativas locales vinculadas al maíz; y iv. disposición para compartir su experiencia. Los perfiles considerados incluyen agricultor campesino custodio de semillas, productor-transformador vinculado a ferias campesinas y cocinera tradicional.

La selección se concibe como un conjunto de casos informativos y no como una muestra representativa. Por ello, los resultados se

circunscriben a los casos estudiados y no se generalizan al conjunto de productores o habitantes de los municipios.

Técnicas e instrumentos

Para la recolección de información se emplearon cuatro técnicas cualitativas orientadas a la construcción de narrativas y a la comprensión de las prácticas, saberes y significados asociados con el maíz nativo. Estas técnicas permitieron recuperar información desde diferentes perspectivas y posteriormente contrastarla mediante triangulación:

- i. Entrevistas a profundidad semiestructuradas, orientadas a explorar trayectorias, prácticas productivas, significados culturales, usos, consumo y percepciones sobre seguridad alimentaria, salud comunitaria y desarrollo local.
- ii. Relatos de vida, que permitieron reconstruir procesos intergeneracionales y vínculos con el maíz nativo, así como comprender su persistencia frente a la urbanización y la incorporación de maíces híbridos, mejorados y, en algunos casos, transgénicos. Su carácter autobiográfico enriqueció el análisis narrativo.
- iii. Observación participante, realizada durante actividades agrícolas, prácticas de cocina tradicional y actividades comunitarias vinculadas al maíz nativo, con el propósito de contextualizar las prácticas y dinámicas observadas durante el trabajo de campo.
- iv. Diarios de campo, utilizados para el registro sistemático de contextos, interacciones y reflexiones derivadas del trabajo de campo.

Los instrumentos incluyeron guías de entrevista semiestructurada piloteadas, cuadernos de campo y matrices de sistematización. La información se organizó por caso y por categoría analítica; se realizó codificación temática inductiva y posteriormente se contrastaron los hallazgos entre técnicas. La triangulación se utilizó como estrategia de consistencia interpretativa. Se priorizó el uso de citas textuales como evidencia empírica para sustentar e interpretar los hallazgos, en coherencia con el enfoque cualitativo. Debido al carácter cualitativo y exploratorio del estudio, no se afirma doble codificación, uso de software especializado ni validación estadística que no formen parte del procedimiento documentado.

Procedimientos

El desarrollo metodológico se organiza en cuatro fases articuladas:

Fase 1. Vinculación y acercamiento comunitario: identificación de actores clave en los tres municipios, establecimiento de contacto y obtención del consentimiento.

Fase 2. Trabajo de campo: realizada durante el ciclo agrícola 2024, incluyó entrevistas en profundidad, observación participante y registro de narrativas locales, complementadas con recorridos etnobotánicos en milpas y unidades familiares, permitiendo una comprensión integral de los sistemas productivos, saberes locales y prácticas de conservación *in situ*.

Fase 3. Sistematización y análisis: organización de la información, codificación temática inductiva y construcción de categorías analíticas mediante análisis temático-narrativo, apoyado en la triangulación de técnicas para fortalecer la validez del estudio.

Fase 4. Co-diseño de la propuesta: construcción participativa del Modelo MGBMNVT con los propios actores comunitarios, a partir de la devolución y validación de los hallazgos.

Consideraciones éticas

La investigación se rige por el consentimiento libre, previo e informado; garantiza confidencialidad y anonimato; respeta los saberes locales y el patrimonio biocultural; y asegura la devolución de resultados.

RESULTADOS

Dada la naturaleza exploratoria y cualitativa del estudio, sustentado en entrevistas, narrativas, relatos de vida y observación participante con tres actores clave, los hallazgos no se presentan con apoyo estadístico, sino a través de categorías temáticas emergentes y evidencia empírica narrativa. Los resultados se organizan en torno a cuatro categorías analíticas centrales: conservación de maíces nativos identificados, saberes locales de manejo de semillas, vínculos entre maíz nativo, alimentación y salud comunitaria, y la propuesta del Modelo MGBMNVT.

Conservación de maíces nativos identificados

Los recorridos de campo y entrevistas comunitarias permitieron documentar ocho variedades de maíz nativo en activo cultivo en los tres municipios estudiados. La Tabla 1 sintetiza sus principales características, usos culinarios y rituales, distribución municipal y estado de conservación actual.

Esta identificación corresponde a la denominación y características referidas u observadas durante el trabajo de campo y no pretende constituir un inventario exhaustivo de razas del Valle Texmeluquense. La literatura especializada para Puebla identifica una diversidad más amplia y utiliza procedimientos específicos de caracterización (López-Morales et al., 2023).

Tabla 1
Variedades de maíz nativo documentadas en el Valle Texmeluquense

Variedad	Color de grano	Uso principal	Municipio(s)	Estado de conservación
Chalqueño	Blanco/Crema	Tortilla, pozole	San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde	Estable
Cacahuazintle	Blanco	Pozole, tamales	San Martín Texmelucan	En riesgo
Bolita	Blanco/Amarillo	Tortilla, atole	San Lorenzo Chiautzingo	Estable
Cónico norteño	Amarillo	Forraje, tortilla	San Salvador el Verde	Estable
Olotillo negro	Morado/Negro	Ritual, tortilla morada	San Lorenzo Chiautzingo	Crítico
Palomero toluqueño	Rojo/Morado	Palomitas, ceremonial	San Martín Texmelucan	Crítico
Mushito	Crema/Naranja	Tortilla, elote	San Salvador el Verde	En riesgo
Arrocillo amarillo	Amarillo pálido	Atole, tamales	Los tres municipios	Estable

Nota. Elaboración propia con base en recorridos de campo y entrevistas (2024). Estado de conservación: Estable = presente en más de una comunidad del municipio; En riesgo = referida por un solo actor; Crítico = conocida pero sin cultivo activo documentado.

Saberes locales y prácticas de manejo de semillas

La Tabla 2 presenta la sistematización de las principales prácticas de manejo de semillas nativas por municipio, indican-

do el nivel de evidencia y documentación de dichas prácticas con base en la información recabada durante el trabajo de campo.

Tabla 2
Prácticas de manejo de semillas nativas por municipio según evidencia documentada

Práctica documentada	S. L. Chiautzingo	San Salvador el Verde	S. M. Texmelucan
Selección de semilla	Referida/documentada	Referida/documentada	Referida/documentada
Almacenamiento tradicional (costal de ixtle)	Referida/documentada	Referida/documentada	Referida/documentada
Intercambio de semillas en redes de reciprocidad	Referida/documentada	Referida parcialmente	Referencia limitada
Siembra en sistema milpa diversificada	Referida/documentada	Referida parcialmente	Referencia limitada
Uso exclusivo de semilla propia (sin compra)	Referida/documentada	Referida parcialmente	Referencia limitada
Consumo de maíz nativo	Referida/documentada	Referida parcialmente	Referencia limitada
Participación o referencia a ferias de semillas	Referida/documentada	Referida parcialmente	Referencia limitada

Nota. Elaboración propia con base en entrevistas semiestructuradas, observación participante y narrativas de cada actor clave (2024).

Maíz nativo, dieta, seguridad alimentaria y salud comunitaria

Las narrativas de los tres actores refieren patrones de consumo diferenciados de productos derivados del maíz nativo nixtamalizado en sus comunidades. En los hogares de Chiautzingo y San Salvador el Verde, se señala que la tortilla de masa nixtamalizada de maíz nativo forma parte de la dieta cotidiana. En Chiautzingo las narrativas describen el uso del maíz nativo en prácticas alimentarias vinculadas a su acceso a dicho cultivo. La cocinera tradicional de San Salvador el Verde refiere el consumo de atole de maíz azul en procesos de recuperación postparto y en el manejo de padecimientos gastrointestinales en población infantil. De igual forma, se menciona el pozole elaborado con maíz cacahuazintle, asociado al consumo de la población en general. En contraste, en la periferia urbana de Texmelucan, las

narrativas evidencian un mayor consumo de tortilla industrial y alimentos ultraprocesados; no obstante, aún persiste la venta doméstica de tortillas elaboradas por mujeres en sus hogares. En conjunto, las narrativas registran la presencia de usos alimentarios y prácticas asociadas al consumo de maíz nativo, así como su incorporación en la dieta cotidiana.

Modelo de Gestión Biocultural del Maíz Nativo del Valle Texmeluquense (MGBMNVT)

A partir de la sistematización de los hallazgos de campo y el proceso de co-diseño participativo con los actores comunitarios, se propone el Modelo MGBMNVT, estructurado en cuatro ejes estratégicos interconectados y articulados por principios transversales (Tabla 3).

Tabla 3
Modelo de Gestión Biocultural del Maíz Nativo del Valle Texmeluquense (MGBMNVT)

Eje estratégico	Componentes	Impacto esperado
Eje 1: Gobernanza comunitaria de semillas	Casas comunitarias de semillas · Reglamentos internos de uso · Ferias locales de intercambio · Registro participativo de variedades	Variedades nativas conservadas <i>in situ</i>
Eje 2: Educación agroalimentaria intercultural	Talleres en escuelas comunitarias y campesinas · Materiales didácticos bilingües · Diálogo intergeneracional de saberes · Vinculación con currícula intercultural	Hogares con acceso regular a maíz nativo; conocimiento biocultural transmitido
Eje 3: Mercados territoriales de proximidad	Circuitos cortos de comercialización · Tianguis agroecológicos · Sellos de identidad territorial · Articulación con cocineras tradicionales y turismo gastronómico comunitario	Familias con ingresos complementarios por venta de maíz nativo y productos en circuitos agroalimentarios
Eje 4: Redes de salud alimentaria	Diagnóstico comunitario de salud alimentaria · Recetarios de gastronomía y cocina tradicional con maíces nativos · Medicina tradicional con maíces · Huertos comunitarios · Coordinación con sector salud y gobierno	Fortalecimiento de prácticas alimentarias saludables y contribución al seguimiento comunitario de factores de riesgo metabólico
Principios transversales	Seguridad alimentaria · Salud comunitaria · Perspectiva de género · Interculturalidad · Sustentabilidad ecológica · Autonomía comunitaria	

Nota. Elaboración propia con base en el proceso de co-diseño participativo con actores comunitarios (2024).

DISCUSIÓN

La documentación de ocho variedades de maíz nativo en los tres municipios del Valle Texmeluquense confirma la vigencia de un reservorio fitogenético significativo en un territorio sometido a fuertes presiones de urbanización e industrialización. La coexistencia de variedades en estado estable (chalqueño, bolita, cónico norteño, arrocillo amarillo) con variedades en riesgo o estado crítico (cacahuazintle, mushito, olotillo negro, palomero toluqueño) revela una diversidad amenazada que demanda atención diferenciada según prioridad de conservación. Los maíces pigmentados presentan compuestos bioactivos de interés, entre ellos antocianinas y compuestos fenólicos, cuya presencia ha sido documentada en maíces azules y productos derivados como la tortilla (Vázquez-Carrillo et al., 2025), lo que les confiere valor diferencial frente a variedades blancas y amarillas, además de mantener vigencia simbólica y ritual en comunidades rurales. La posible desaparición de variedades en estado crítico no solo implicaría una pérdida genética irreversible, sino el desvanecimiento de prácticas culturales, rituales, alimentarias y medicinales asociadas.

Esto constituye una alerta urgente y posiciona la preservación de estas variedades como prioridad del Eje 1 del modelo MGBMNVT asociado a la gobernanza comunitaria de semillas.

Las prácticas de manejo de semillas documentadas en la Tabla 2 confirman la persistencia de sistemas campesinos de custodia fitogenética que operan con lógicas propias. La mayor concentración de prácticas documentadas en Chiautzingo, particularmente la siembra en milpa diversificada y el intercambio de semillas, contrasta con el patrón más fragmentado de San Martín Texmelucan, reflejo de la presión urbana diferencial entre municipios. Los sistemas de gobernanza local de recursos, particularmente de semillas, se articulan con lo señalado por Xochipa-Morante et al. (2024), quienes destacan que recursos

como los hongos y los maíces nativos fortalecen la memoria biocultural y actúan como mecanismos de resistencia frente a la homogeneización agroalimentaria. El rol de las mujeres como custodias del conocimiento culinario y fitogenético, evidenciado en las narrativas, coincide con Xochipa-Morante (2021) al reconocerlo como patrimonio biocultural invisibilizado. Esto implica que el MGBMNVT integre una perspectiva de género que las posicione como agentes clave de conservación genética y cohesión alimentaria.

La articulación incipiente pero frágil entre maíces nativos y circuitos agroalimentarios locales, referida especialmente por el productor-transformador de San Lorenzo Chiautzingo y San Salvador el Verde, sugiere que existen nichos de mercado con potencial de desarrollo. Xochipa-Morante (2021) documenta experiencias similares en la Sierra Nevada Poblana donde el maíz azul comienza a posicionarse en mercados especializados articulando valor simbólico y ventajas competitivas nutraceuticas. Sin embargo, la incipiente articulación comercial documentada requiere fortalecerse mediante mecanismos como sellos de identidad territorial, circuitos cortos de comercialización y vínculos con el turismo gastronómico, tal como propone el Eje 3 del MGBMNVT. Esta dimensión económica es importante para que la conservación de la agrobiodiversidad sea viable articulando sustentabilidad ecológica con economía solidaria.

En cuanto al consumo habitual de maíz nativo, principalmente en forma de tortilla nixtamalizada, este es notoriamente alto en San Lorenzo Chiautzingo y San Salvador el Verde; en contraste, en la periferia urbana de San Martín Texmelucan predomina el consumo de ultraprocesados, lo que evidencia el desplazamiento de estos alimentos tradicionales en contextos urbanizados. Amador-Mendoza et al. (2024) documentan que productos nixtamalizados elaborados a partir de maíces nativos presentan ventajas nutricionales relevantes, incluyendo mayor contenido de compuestos bioactivos (como fenólicos y antocianinas), mayor fibra dietética y efectos favorables en la respuesta

glucémica en comparación con productos industrializados. Por su parte, Moreno-Flores et al. (2014) evidencian que las dietas tradicionales basadas en maíz nativo se asocian con mejores perfiles nutricionales y menor prevalencia de factores de riesgo metabólico en poblaciones rurales mexicanas. El uso del atole de maíz azul en recuperación postparto en Chiautzingo y el manejo de padecimientos gastrointestinales infantiles referido en San Salvador el Verde, suma una dimensión etnofarmacológica que abre una línea de investigación relevante no explorada hasta ahora en el Valle Texmeluquense. Desde el enfoque de los determinantes sociales de la salud (OMS, 2021), estos hallazgos posicionan al maíz nativo no solo como alimento, sino como recurso de salud comunitaria con pertinencia cultural, lo que justifica su incorporación explícita en el Eje 4 del MGBMNVT y en políticas de nutrición con pertinencia cultural.

CONCLUSIONES

El Valle Texmeluquense, pese a la creciente urbanización e industrialización de su entorno, persiste como territorio vivo de conservación de maíces nativos, sostenida principalmente por custodios campesinos y, de manera protagónica, por mujeres rurales que combinan el conocimiento agronómico con el culinario y el medicinal.

La propuesta del Modelo de Gestión Biocultural del Maíz Nativo del Valle Texmeluquense (MGBMNVT) representa un aporte innovador al campo de la gestión de proyectos locales con impacto social: ofrece una arquitectura territorial que integra, de manera sistémica, gobernanza comunitaria de semillas, educación agroalimentaria intercultural, mercados de proximidad y redes de salud alimentaria, bajo principios trans-

versales de soberanía alimentaria, perspectiva de género e interculturalidad. Su carácter co-construido con los propios actores comunitarios le confiere legitimidad y sostenibilidad que los modelos de intervención exógena no pueden garantizar.

Para el territorio interserrano poblano donde el monocultivo del café, la marginalidad rural y la erosión cultural coexisten con una extraordinaria riqueza biocultural, el MGBMNVT ofrece un modelo replicable que puede ajustarse a los contextos locales de la Sierra Norte y la Sierra Negra, donde los maíces nativos enfrentan diversas presiones. Su implementación requiere la articulación de actores institucionales, universidades como la UIEPA, dependencias de agricultura, salud y educación, con los conocimientos y capacidades de organizaciones locales, bajo un esquema de gobernanza participativa que respete la autonomía comunitaria.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa su más profundo agradecimiento a las comunidades de San Lorenzo Chiautzingo, San Salvador el Verde y San Martín Texmelucan, y en particular a los custodios y guardianas de semillas y cocineras tradicionales que compartieron generosamente sus conocimientos y tiempo.

CUMPLIMIENTO EDITORIAL

La autora declara que este manuscrito es original, no está en evaluación en otra revista, y cumple con el límite de autorías. Además, la autora declara que no hay ningún conflicto de intereses con la revista Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: The science of sustainable agriculture* (2a ed.). CRC Press.
- Amador-Mendoza, A., Mateos-Ramos, T. de J., & Bravo-Delgado, H. R. (2024). Respuesta glucémica de una tortilla a base de maíz nixtamalizado adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 44(4), 75–83. <https://doi.org/10.12873/444bavo>
- Bellon, M. R., & Brush, S. B. (1994). Keepers of maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany*, 48(2), 196–209. <https://doi.org/10.1007/BF02908218>
- Bellon, M. R., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santa María, D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H., Acevedo, F., & Sarukhán, J. (2021). Beyond subsistence: The aggregate contribution of campesinos to the supply and conservation of native maize across Mexico. *Food Security*, 13(1), 39–53. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01134-8>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Razas de maíz de México*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>
- López-Morales, F., Vázquez-Carrillo, M. G., Aragón-García, A., Pérez-Torres, B. C., Marrufo-Díaz, M. de la L., Hernández-Salinas, G., & Ibáñez-Martínez, A. (2023). Caracterización del grano y tortilla de razas de maíz nativas del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4), 357–365. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.357>
- Martínez-Salgado, C. (2012). El muestreo en investigación cualitativa: principios básicos y algunas controversias. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(3), 613–619. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000300006>
- Moreno-Flores, M. E., Vizcarra-Bordi, I., Benítez-Arciniega, A. D., & Chávez-Mejía, C. (2014). El grupo de alimentos del maíz en la estructura energética de la dieta de madres de hogares productores de maíces nativos en dos comunidades del centro de México. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 18(2), 68–73. <https://doi.org/10.14306/renhyd.18.2.44>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). *Determinantes sociales de la salud*. OMS. https://www.who.int/social_determinants/es
- Patel, R. (2009). Food sovereignty. *The Journal of Peasant Studies*, 36(3), 663–706. <https://doi.org/10.1080/03066150903143079>
- Rivera López, F., Wickson, F., & Hausner, V. H. (2020). Bridging different perspectives for biocultural conservation: Art-based participatory research on native maize conservation in two indigenous farming communities in Oaxaca, Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 7427–7451. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00530-1>

- Sarukhán, J., Urquiza-Haas, T., Koleff, P., Carabias, J., Dirzo, R., Ezcurra, E., Cerdeira-Estrada, S., & Soberón, J. (2015). Strategic actions to value, conserve, and restore the natural capital of megadiversity countries: The case of Mexico. *BioScience*, 65(2), 164–173. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu195>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Palos-Hernández, A., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., García-Cruz, L., Arellano-Vázquez, J. L., & Rojas-Martínez, I. (2025). Blue maize with pigmented germ: Phytochemical compounds and tortilla color. *Food Chemistry*, 463, 141109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141109>
- Xochipa-Morante, R. C. (2021). *Pequeños productores de maíz azul y los mercados: Un enfoque de cadena de valor* [Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, campus Puebla]. Repositorio Institucional Colpos. <http://193.122.196.39:8080/handle/10521/4866>
- Xochipa-Morante, J. R., Xochipa-Morante, R. C., Carmona-Silva, J. L., Vargas-Picado, H., & Macías-López, A. (2024). Recolección de hongos comestibles silvestres en la Sierra Nevada de Puebla: alternativa de diversificación productiva y desarrollo territorial. *Revista Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 4(1), 51–59. <https://academiajournals.dropmark.com/1659375/35179617>



ARTÍCULO ORIGINAL · CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TERRITORIAL

Valorización del bagazo cervecero para la producción de hongos comestibles y desarrollo local en Puebla

Jose Roberto Xochipa-Morante^{1*}, Reyna Concepción Xochipa-Morante², Huberth Vargas-Picado³, Antonio Macías-López⁴

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, San Pedro Cholula, Puebla, México

² El Colegio de Tlaxcala A.C., Centro de Estudios en Desarrollo Regional y Análisis Económico, Maestría en Desarrollo Regional, San Pablo Apetatlán, Tlaxcala, México

³ Universidad de Costa Rica (UCR), Escuela de Geografía, Facultad de Ciencias Sociales, Montes de Oca/San Pedro, Costa Rica

⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, San Pedro Cholula, Puebla, México

* Autor(a) por correspondencia: robertxocmor10@gmail.com · ORCID: 0000-0002-3803-4340

RESUMEN

El bagazo cervecero es el principal subproducto sólido de la industria cervecera artesanal y representa un residuo con alto potencial biotecnológico para la producción de hongos comestibles. El presente artículo tiene como objetivo caracterizar el manejo actual del bagazo cervecero generado por cervecerías artesanales del estado de Puebla, y evaluar el nivel de conocimiento e interés de los cerveceros respecto a su aprovechamiento en el cultivo de hongos comestibles como alternativa de desarrollo sustentable. Se aplicó un cuestionario semiestructurado a 25 cervecerías, ubicadas en los municipios de Puebla (48%), San Pedro Cholula (32%), San Andrés Cholula (16%) y Cuautlancingo (4%), mediante muestreo intencional con técnica de bola de nieve. Los resultados indican que el 72% de las cervecerías genera entre 20 y 270 kg de bagazo húmedo por mes, con un promedio de 250 kg por unidad productiva. El destino mayoritario es la alimentación de ganado (64%), mientras que el 20% lo desecha sin uso alguno. La totalidad de los establecimientos refirieron que mantener el bagazo en las instalaciones genera problemas operativos como plagas, contaminación por mohos y reducción de espacio. En cuanto al aprovechamiento micológico, el 52% de los cerveceros conocía la posibilidad de producir hongos comestibles con bagazo, pero el 72% desconoce el proceso biotecnológico. Sin embargo, el 72% manifestó interés en el tema, el 88% estaría dispuesto a capacitarse y el 40% consideraría producir sus propios hongos. Estos hallazgos sugieren un escenario favorable para implementar cadenas de valor circulares que articulen la producción cervecera artesanal con el cultivo de hongos comestibles, generando beneficios ambientales, sociales y económicos en la región.

Palabras clave: bagazo cervecero; hongos comestibles; desarrollo sustentable; biotecnología; cervecerías artesanales; estado de Puebla

ABSTRACT

Brewer's spent grain is the main solid byproduct of the craft brewing industry and represents a residue with high biotechnological potential for the production of edible mushrooms. This article aims to characterize the current management of brewer's spent grain generated by craft breweries in the state of Puebla and to evaluate the level of knowledge and interest of brewers regarding its use in the cultivation of edible mushrooms as a sustainable development alternative. A semi-structured questionnaire was administered to 25 breweries located in the municipalities of Puebla (48%), San Pedro Cholula (32%), San Andrés Cholula (16%), and Cuautlancingo (4%), using purposive snowball sampling. The results indicate that 72% of the breweries generate between 20 and 270 kg of wet spent grain per month, with an average of 250 kg per production unit. The majority of the spent grain is used as livestock feed (64%), while 20% discard it without any use. All of the establishments reported that storing spent grain on their premises creates operational problems such as pests, mold contamination, and reduced space. Regarding the use of mushrooms, 52% of the brewers were aware of the possibility of producing edible mushrooms from spent grain, but 72% were unfamiliar with the biotechnological process. However, 72% expressed interest in the topic, 88% would be willing to receive training, and 40% would consider producing their own mushrooms. These findings suggest a favorable scenario for implementing circular value chains that link craft beer production with the cultivation of edible mushrooms, generating environmental, social, and economic benefits in the region.

Keywords: brewer's spent grain; edible mushrooms; sustainable development; biotechnology; craft breweries; State of Puebla

Cómo citar: Xochipa-Morante, J.R., Xochipa-Morante, R.C., Vargas-Picado, H. & Macías-López, A. (2026). Valorización del bagazo cervecero para la producción de hongos comestibles y desarrollo local en Puebla. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 43–52.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. **CC BY-NC 4.0**

INTRODUCCIÓN

La industria cervecera artesanal ha mostrado un crecimiento acelerado en México durante la reciente década, consolidándose como un sector con importante presencia económica y cultural en regiones como la Zona Metropolitana de Puebla. Paralelamente, esta expansión ha incrementado la generación de residuos sólidos, siendo el bagazo cervecero, internacionalmente denominado *Brewer's Spent Grain* (BSG), el subproducto mayoritario, representando el 85% de los residuos totales producidos en el proceso de elaboración de cerveza (Lynch *et al.*, 2016).

El bagazo cervecero es el residuo insoluble que resulta de la maceración y filtración de la cebada malteada durante la producción del mosto cervecero. Este subproducto contiene entre el 75 y 80% de humedad inicial, además de niveles considerables de polisacáridos, azúcares fermentables residuales y proteínas, condiciones que lo convierten en un sustrato orgánico con características idóneas para el cultivo de hongos comestibles (Nigam, 2017). No obstante, cuando no es adecuadamente gestionado, puede constituir un foco de contaminación ambiental, al generar metano por descomposición anaeróbica, un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el CO₂, así como afectaciones al suelo, agua y atmósfera circundantes (Lynch *et al.*, 2016).

Los hongos comestibles constituyen la cadena agroalimentaria microbiana emergente más relevante de México. En 2020, la producción nacional superó las 63 mil toneladas de hongos frescos, con un valor económico por encima de los 200 millones de dólares anuales y la generación de más de 25 mil empleos directos e indirectos (SAGARPA-SIACON, 2020). Entre sus ventajas destaca la capacidad de los hongos para crecer sobre una gran diversidad de residuos agroindustriales, aprovechando su sistema multienzimático lacasas, celulasas, xilanasas, manganeso-peroxidasas, entre otras, que les permite degradar eficientemente la materia orgánica compleja (Kumla *et al.*, 2020; Piña-Guzmán *et al.*, 2017). Este potencial biotecnológico ha sido documentado en distintos sistemas productivos regionales, incluyendo estudios sobre hongos comestibles silvestres en la Sierra Nevada de Puebla, donde se ha identificado su importancia como alternativa de diversificación productiva y desarrollo territorial (Xochipa-Morante *et al.*, 2024).

Desde el enfoque del desarrollo sustentable, la producción de hongos comestibles sobre bagazo cervecero representa una oportunidad para articular tres dimensiones: la ambiental, me-

dante la reducción de residuos y emisiones contaminantes; la social, a través de la seguridad alimentaria y la generación de empleos; y la económica, al transformar un residuo de bajo valor en un producto de alto valor comercial (Purvis *et al.*, 2019). Esta propuesta es también compatible con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, particularmente el objetivo 12 sobre producción y consumo responsable, y con la Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla (Gobierno del Estado de Puebla, 2023).

En el contexto de los sistemas agroalimentarios locales, la valorización de subproductos como el bagazo cervecero se articula con dinámicas más amplias de economía circular y bioeconomía territorial. Dey *et al.* (2022) señalan que los sistemas de producción familiar en el estado de Puebla enfrentan retos estructurales vinculados al acceso a tecnología y a la diversificación de ingresos, lo que otorga especial relevancia al diseño de estrategias que aprovechen residuos locales para generar nuevos productos con valor agregado. En este marco, la articulación entre cervecerías artesanales y productores de hongos comestibles podría configurarse como un circuito corto de valorización agroindustrial (Velenturf y Purnell, 2021).

A pesar de estas potencialidades, en México existe escasa investigación sobre el nivel de conocimiento y disposición de los productores cerveceros artesanales para incorporar la producción de hongos comestibles como una estrategia de valorización de sus residuos. El estado de Puebla, si bien se encuentra entre los 15 estados con mayor producción de hongos del país, carece de políticas públicas específicas para fomentar esta cadena productiva (Ruan-Soto *et al.*, 2025; Xochipa-Morante *et al.*, 2024).

Por lo mencionado, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar el manejo actual del bagazo cervecero generado por las cervecerías artesanales de la Zona Metropolitana de Puebla y evaluar el nivel de conocimiento e interés de los cerveceros en torno a la producción de hongos comestibles a partir de dicho residuo, como alternativa de desarrollo sustentable. Con ello, se pretende generar información de base para el diseño de estrategias de transferencia tecnológica, capacitación y políticas públicas orientadas a la valorización de subproductos agroindustriales en el estado de Puebla.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de tipo descriptivo-transversal con enfoque cuantitativo. El universo de análisis correspondió a las cervece-

rías artesanales establecidas en los municipios de Puebla, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula y Cuautlancingo.

Área de estudio

La investigación se realizó en municipios del estado de Puebla pertenecientes a la Zona Metropolitana, reconocida como la cuarta zona metropolitana más poblada de México con más de tres millones de habitantes (INEGI, 2020). Esta zona concentra una importante actividad industrial, comercial y gastronómica que ha propiciado el desarrollo de la cervecería artesanal como una actividad productiva emergente. Los municipios de Puebla, San Andrés Cholula y San Pedro Cholula son municipios con un gran número de cervecerías artesanales del Estado de Puebla

(Unión cervecera independiente, 2022), característica que determinó la delimitación geográfica (Figura 1).

Geográficamente, el municipio de Puebla constituye el núcleo urbano principal, mientras que San Andrés y San Pedro Cholula representan municipios periurbanos con alta densidad de micro y pequeñas empresas cerveceras, muchas de las cuales operan en espacios reducidos con limitadas opciones de gestión de residuos. Este contexto espacial es relevante porque determina las condiciones en las que se genera y dispone el bagazo cervecero, así como las posibilidades reales de implementar módulos de producción de hongos comestibles *in situ*.

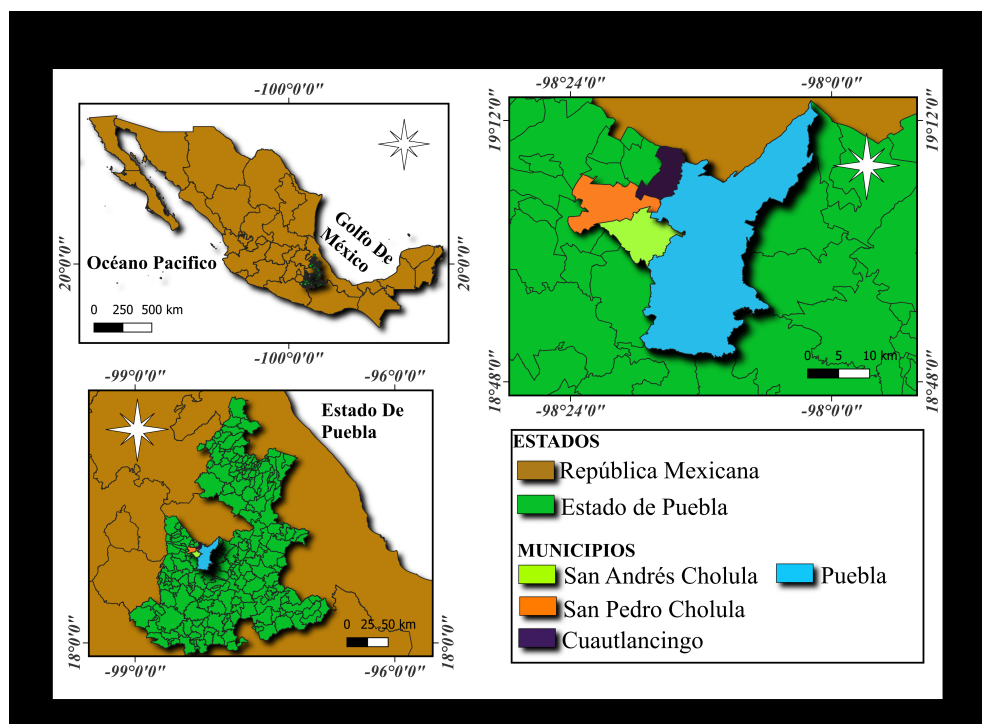


Figura 1

Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Nota. Elaborado por Seth Galindo Juárez usando el software QGIS versión 3.40 a partir de metadatos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO (2024).

Población y muestra

Dada la dispersión geográfica de los establecimientos y la ausencia de un marco poblacional y muestral completo, se optó por un muestreo no probabilístico por conveniencia con técnica intencional, complementado con la técnica de bola de nieve. En dichos municipios, donde, en palabras de los productores, se concentra un número significativo de productores artesanales, se aplicaron un total de 25 cuestionarios. Es importante señalar que, dado el tipo de muestreo utilizado, la muestra no es estadísticamente representativa de la población total. Los resultados deben interpretarse como hallazgos exploratorios-descriptivos, válidos para la muestra estudiada, y constituyen insumos para futuras investigaciones con diseños probabilísticos.

Instrumento de recolección de datos

Se diseñó y aplicó un cuestionario semiestructurado integrado por bloques temáticos: datos generales, generación y manejo actual del bagazo cervecero, y conocimiento e interés en la producción de hongos comestibles. El instrumento incluyó preguntas cerradas de opción múltiple, escalas Likert de cinco niveles para medir el grado de interés y disposición y pregunta abierta. Previamente a su aplicación, el cuestionario fue revisado por expertos y sometido a una prueba piloto con cinco cerveceros para verificar la claridad y comprensión de los reactivos.

El cuestionario incluyó preguntas de aplicación general y preguntas condicionadas a determinadas características o prácticas reportadas por los establecimientos. Por ello, el número de respuestas válidas (n) pudo variar entre los diferentes reactivos. En

las preguntas condicionadas, únicamente se solicitó respuesta a los establecimientos que cumplieran con el criterio establecido en el instrumento; en consecuencia, los porcentajes correspondientes a cada reactivo se calcularon con base en el número de respuestas válidas para esa pregunta y no necesariamente sobre el total de los 25 cuestionarios aplicados.

Para el bloque de bagazo cervecero se evaluaron: cantidad de bagazo generado por mes (kg), destino actual del residuo, problemática asociada a su almacenamiento y percepción sobre su impacto ambiental. Para el bloque de producción de hongos comestibles se midieron: nivel de conocimiento previo, grado de exposición al tema, conocimiento del proceso biotecnológico, grado de interés, disposición para recibir capacitación y probabilidad de adopción de la práctica productiva.

Análisis de datos

El procesamiento de datos se realizó en Microsoft Excel y posteriormente los datos obtenidos se procesaron mediante estadística descriptiva en el software estadístico SPSS: frecuencias absolutas y relativas. Para las variables con escala Likert se calcularon distribuciones de frecuencia por categoría. Los resultados se presentan mediante cuadros de contingencia y descripción narrativa de las tendencias identificadas, enriquecida con fragmentos representativos de los testimonios de los encuestados que ilustran cualitativamente las respuestas cuantitativas. Cabe precisar que dichos fragmentos no constituyen citas textuales o *verbatim*, sino testimonios reconstruidos a partir de respuestas representativas de los encuestados, tal como se detalla en el apartado de Consideraciones éticas.

Consideraciones éticas

La participación fue voluntaria e informada. Los datos individuales de los establecimientos participantes son tratados con

confidencialidad y los fragmentos narrativos presentados en la sección de resultados corresponden a testimonios reconstruidos a partir de respuestas representativas, sin identificar a los participantes. No se requirió aprobación por comité de bioética al no involucrar sujetos humanos en situación de vulnerabilidad. Se respetaron los principios de honestidad, transparencia y no maleficencia en el manejo de la información.

RESULTADOS

Caracterización de la muestra: distribución municipal

La muestra de 25 cervecerías encuestadas se distribuyó en cuatro municipios de la Zona Metropolitana de Puebla (Tabla 1). El municipio de Puebla concentró la mayor proporción de establecimientos participantes con el 48% (n=12), seguido de San Pedro Cholula con el 32% (n=8), San Andrés Cholula con el 16% (n=4) y Cuautlancingo con el 4% (n=1).

Generación y manejo actual del bagazo cervecero

En 2025, la mayoría de las cervecerías artesanales cercanas a Puebla capital produjeron mensualmente entre 20 y 270 kg de bagazo húmedo (72%), con un promedio de 250 kg por establecimiento (Tabla 1). En cuanto a la pregunta "¿La necesidad de deshacerse del bagazo le representa algún inconveniente?", es importante precisar que el reactivo se aplicó únicamente a la muestra que reportó manipular el bagazo generado en su propia planta de producción.

Tabla 1

Variables relacionadas al bagazo cervecero generado por las cervecerías artesanales en la Zona Metropolitana de Puebla, 2025

Variables	Respuestas	Frecuencia	Porcentaje (%)
Cantidad de bagazo generado (kg/mes)	20 a 270 / 270 a 520 / 520 a 770 / 770 a 1000	18 / 2 / 3 / 2	72 / 8 / 12 / 8
¿Cuál es el destino habitual del bagazo que obtiene?	Desecho o tiro / Lo doy a quien me lo pide / Lo ocupo / Otro	5 / 16 / 3 / 1	20 / 64 / 12 / 4
¿La necesidad de deshacerse del bagazo le representa algún inconveniente?	Sí / No	4 / 2	66.6 / 33.3
Almacenar el bagazo en sus instalaciones por un tiempo, ¿le ocasiona algún tipo de complicación?	Sí	10	100
¿El hecho de desechar el bagazo en el entorno o ambiente puede generar consecuencias perjudiciales?	Sí / No	16 / 9	64 / 36
¿Qué afectaciones ambientales cree que puede ocasionar el desecho inadecuado del bagazo?	Contaminación / Emisión de gases de efecto invernadero	15 / 1	93.75 / 6.25

Nota. Elaboración propia con base en encuesta aplicada a 25 cervecerías artesanales, 2025. El número de respuestas válidas (n) varió entre los reactivos debido a la aplicación de preguntas condicionadas; los porcentajes se calcularon con base en el (n) de respuestas válidas para cada pregunta.

Solo el 8% de las unidades productivas generó entre 770 y 1,000 kg mensuales, lo que corresponde a las empresas con mayor capacidad instalada. Estos datos evidencian que la producción artesanal en la región opera mayormente en rangos de pequeña escala, con una generación de residuos que, en términos agregados, podría superar las 15 toneladas mensuales de bagazo húmedo considerando todas las cervecerías de Puebla.

En cuanto al destino del bagazo generado, el uso predominante fue la entrega gratuita para alimentación de ganado (64%), práctica que, si bien representa una alternativa de disposición básica, no genera ningún ingreso económico adicional para las cervecerías y constituye una relación asimétrica de transferencia de recursos. El 20% de los establecimientos declaró desechar el bagazo sin ningún uso, mientras que el 12% refirió emplearlo como compost o alimento para mascotas, y el 4% señaló otras alternativas como dejarlo en el jardín etnobotánico de la BUAP.

La percepción sobre la carga que representa gestionar el bagazo fue dividida: el 66.6% de los encuestados reconoció que deshacerse del subproducto les genera algún inconveniente operativo o logístico, mientras que el 33.3% restante no lo considera un problema. Sin embargo, independientemente de esta percepción, la práctica de disposición predominante revela una asimetría notable: quienes transfieren su bagazo a terceros lo hacen en su totalidad sin recibir ninguna compensación económica a cambio (100%), y el receptor en todos los casos lo emplea como alimento para ganado (100%).

Un cervecero de San Pedro Cholula resumió esta situación con claridad: *"Se lo llevan gratis y tú hasta agradeces que vengan a recogerlo, porque si no, tienes que tirarlo tú mismo."*

Igualmente, algunos cerveceros de municipios como San Andrés Cholula y Puebla expresaron la tensión entre la generación del

residuo y la falta de opciones de valorización accesibles. Un cervecero del municipio de Puebla señaló:

"El bagazo se acumula después de cada cocción y si no llega el señor que me lo pide para su ganado, ya no sé qué hacer con él. Me ocupa espacio, me genera humedad y olores, y al final lo termino tirando. Ojalá hubiera una manera de darle otro uso."

Esta lógica de cesión sin retorno económico ilustra la ausencia de una alternativa de aprovechamiento para el bagazo cervecero en la región y subraya el potencial que tendría su valorización biotecnológica como alternativa de generación de ingresos complementarios.

Este tipo de testimonios refleja una problemática recurrente en el sector: la ausencia de alternativas formales de valorización del bagazo a pequeña escala, que deriva en prácticas de desecho poco sostenibles. Un aspecto relevante es que la totalidad de los cerveceros que mantienen bagazo en sus instalaciones reportaron que ello genera problemas operativos, principalmente: proliferación de plagas, contaminación por hongos y mohos no deseados, y reducción del espacio productivo disponible. Esta situación es consistente con las características fisicoquímicas del bagazo fresco, cuya alta humedad (75-80%) y contenido de nutrientes favorece el crecimiento acelerado de microorganismos saprófitos (Lynch *et al.*, 2016; Mitri *et al.*, 2022).

Con respecto a la percepción ambiental, el 64% de los cerveceros consideró que el desecho de subproductos en el ambiente genera efectos negativos, siendo la contaminación del agua y suelo la preocupación más mencionada (93.75%), seguida de la emisión de gases de efecto invernadero (6.25%). Cabe destacar que el 36% restante no percibió consecuencias negativas asociadas

al desecho de bagazo. Sobre este punto, uno de los cerveceros de San Pedro Cholula comentó:

"Nosotros lo damos gratis al rancho de un conocido, así que no lo vemos como un problema ambiental. Pero si me preguntan si es lo más correcto o si le estamos sacando todo el jugo que tiene, pues la respuesta honesta es que no."

Este testimonio ilustra la diferencia entre la percepción del residuo como un problema resuelto y su comprensión como un recurso potencialmente subaprovechado, lo que señala la necesidad de estrategias de concientización y educación ambiental dirigidas al sector (Aguilar *et al.*, 2022).

Conocimiento e interés en la producción de hongos comestibles

El segundo bloque temático reveló un panorama mixto en cuanto al conocimiento previo y la disposición de los cerveceros para incursionar en la producción de hongos comestibles (Tabla 2).

En términos de conocimiento declarativo, el 52% de los encuestados afirmó conocer la posibilidad de producir hongos comestibles a partir del bagazo cervecero, mientras que el 48% desconocía esta opción. Sin embargo, cuando se indagó sobre el conocimiento del proceso biotecnológico específico para su cultivo, el panorama se revirtió: el 72% reconoció no saber o conocer muy poco sobre el proceso productivo, el 16% manifestó tener un conocimiento intermedio, y solo el 12% indicó conocerlo bien o muy bien.

Tabla 2
Variables relacionadas con la producción de hongos comestibles en las cervecerías artesanales del estado de Puebla, 2025

Variables	Respuestas	Frecuencia	Porcentaje (%)
¿Conocimiento del uso del bagazo como sustrato para el cultivo de hongos comestibles?	Sí / No	13 / 12	52 / 48
¿Con qué frecuencia ha tenido acceso a información sobre el cultivo y producción de hongos comestibles?	Nada / Poco / Algo	5 / 17 / 3	20 / 68 / 12
¿Qué tan familiarizado está con el proceso biotecnológico que implica la producción de hongos comestibles?	No / Poco / Algo / Sí conoce / Conoce mucho	10 / 8 / 4 / 2 / 1	40 / 32 / 16 / 8 / 4
¿En qué medida le resulta atractiva la idea de producir hongos comestibles a partir de residuos de su proceso productivo?	Nada / Poco / Regular / Interesante / Muy interesante	1 / 2 / 4 / 12 / 6	4 / 8 / 16 / 48 / 24
Si se le ofreciera capacitación para aprender a cultivar hongos comestibles usando bagazo, ¿qué tan interesado estaría en participar?	Nada / Poco / Algo / Sí estoy interesado / Muy interesado	1 / 2 / 9 / 11 / 2	4 / 8 / 36 / 44 / 8
¿En qué grado estaría dispuesto a incorporar la producción de hongos comestibles como una actividad complementaria?	No / Poco / Algo / Sí lo consideraría / Mucho lo consideraría	2 / 5 / 8 / 9 / 1	8 / 20 / 32 / 36 / 4

Nota. Elaboración propia con base en encuesta aplicada a 25 cervecerías artesanales, 2025. Las escalas Likert de 5 puntos corresponden a las preguntas sobre interés y disposición.

La exposición previa al tema también fue limitada: el 68% de los encuestados señaló haber escuchado poco al respecto, el 20% nunca lo había escuchado, y solo el 12% manifestó cierto nivel de familiaridad con el tema. Estos resultados coinciden con lo documentado por Xochipa-Morante *et al.* (2024) en estudios sobre recolección de hongos comestibles silvestres en la Sierra Nevada de Puebla, donde se identificó que, aun en comunidades con tradición fúngica arraigada, el conocimiento sobre procesos biotecnológicos de cultivo controlado es escaso y requiere intervención institucional para su difusión.

Un cervecero de San Pedro Cholula que sí conocía la posibilidad de cultivar hongos con bagazo explicó cómo llegó a saberlo:

"Me lo contó un amigo que estudia biotecnología. Me pareció fascinante que el mismo desperdicio que me genera dolor de cabeza cada fin de semana pueda convertirse en algo que se vende caro en el mercado. Pero de ahí a saber cómo hacerlo hay un mundo. Nunca encontré información sencilla ni nadie que me enseñara."

Este testimonio subraya que la difusión del conocimiento sobre producción micológica llega mayoritariamente a través de redes informales y no por canales institucionales de extensión o trans-

ferencia tecnológica, lo que representa una debilidad sistémica en la cadena de valor de los hongos comestibles a escala regional.

En cuanto al nivel de interés declarado, el 72% de los cerveceros calificó el tema de producción de hongos comestibles como interesante o muy interesante, el 16% lo consideró de interés regular y solo el 12% manifestó poco o ningún interés. Un cervecero del municipio de Puebla que se identificó como "algo interesado" explicó sus reservas de la siguiente manera:

"Me llama la atención, pero tengo miedo de meterme en algo que no conozco. Somos una empresa pequeña y no podemos arriesgarnos a perder dinero en un experimento. Si hubiera alguien que nos acompañara en el proceso, ya sería otra cosa."

Esta voz sintetiza la posición de un segmento importante de los encuestados: el interés existe, pero está condicionado por la percepción de riesgo asociado a la falta de acompañamiento técnico. Esta barrera es consistente con los hallazgos de Pale y Guzmán (2021) sobre la expansión del cultivo de hongos comestibles en comunidades de Chiapas, donde el factor más determinante para la adopción no fue el interés inicial sino la disponibilidad de acompañamiento técnico continuo.

La disposición para recibir capacitación fue favorable: el 88% se manifestó algo interesado, interesado o muy interesado en participar en un programa de formación, mientras que únicamente el 12% mostró baja disposición. Al consultar sobre ello, un cervecero de San Pedro Cholula que se identificó como "muy interesado" comentó:

"Si me dices que hay un curso para aprender a producir hongos con mi propio bagazo, me apunto mañana mismo. Resolvería dos problemas de un solo golpe: qué hago con el bagazo y cómo genero un ingreso extra para la cervecería."

Finalmente, respecto a la probabilidad de adopción práctica, el 40% de los cerveceros señaló que sí lo consideraría o lo consideraría mucho, el 32% manifestó considerarlo en algún grado ("algo"), el 20% lo consideraría poco y solo el 8% descartó la posibilidad. En términos agregados, el 72% mostró algún nivel de disposición positiva hacia la producción de hongos comestibles en sus instalaciones, lo que constituye un indicador promisorio para el diseño de programas piloto de valorización de bagazo cervecero en la región.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos ofrecen evidencia empírica sobre el estado actual del manejo del bagazo cervecero en la región Puebla y permiten trazar un diagnóstico de partida para el diseño de estrategias de valorización biotecnológica. En primer lugar, la concentración de la generación de bagazo en el rango de 20-270 kg/mes (72% de las cervecerías) y el promedio de 250 kg por establecimiento señalan que se trata de volúmenes manejables a

escala de pequeña empresa, lo que hace técnicamente viable la instalación de módulos de producción de hongos comestibles en las propias instalaciones cerveceras sin requerir infraestructura de gran escala.

El hecho de que el 64% de los cerveceros entregue el bagazo gratuitamente para alimentación de ganado refleja una práctica de disposición de bajo nivel de valorización. Aunque representa una alternativa al desecho directo, no genera valor económico para el productor cervecero ni aprovecha el potencial nutricional y biotecnológico del sustrato. Por el contrario, la producción de hongos comestibles como *Pleurotus ostreatus* (setas) sobre bagazo cervecero ha sido documentada con tasas de eficiencia biológica de hasta 60-80% en condiciones controladas, lo que implica que por cada 100 kg de sustrato húmedo es posible obtener entre 12 y 20 kg de hongos frescos con alto valor comercial (Piña-Guzmán *et al.*, 2017). De manera complementaria, Wang *et al.* (2001) evaluaron experimentalmente el uso de bagazo cervecero (BSG) como sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Los autores encontraron que el bagazo cervecero sin pretratamiento puede emplearse como sustrato base para el cultivo de *P. ostreatus*, reportando una eficiencia biológica de 19.1% cuando el bagazo fue suplementado con salvado de trigo, mientras que el bagazo utilizado de manera aislada presentó una formación limitada de cuerpos fructíferos. Estos resultados aportan evidencia experimental sobre la posibilidad de utilizar el BSG para la producción de *P. ostreatus* y, al mismo tiempo, muestran que el rendimiento depende de la formulación y las condiciones del sustrato. En el contexto de los volúmenes identificados en las cervecerías estudiadas, estos antecedentes respaldan la pertinencia de explorar esquemas de valorización a pequeña escala o artesanal, cuya viabilidad deberá evaluarse mediante ensayos experimentales bajo las condiciones locales.

La problemática reportada por el 100% de los cerveceros que almacenan bagazo en sus instalaciones, plagas, contaminación por mohos no deseados y reducción de espacio, es consistente con lo documentado en la literatura sobre el manejo de residuos con alta humedad y contenido orgánico (Macías y Sevilla, 2021; Terefe, 2022). Esta situación representa, paradójicamente, tanto un problema como una oportunidad: el bagazo fresco, al ser procesado rápidamente como sustrato de hongos, reduce el tiempo de permanencia en las instalaciones y con ello los riesgos asociados a su almacenamiento prolongado. Los testimonios recogidos refuerzan esta lectura: los cerveceros no perciben el bagazo como un activo, sino como una carga operativa, lo que sugiere que las estrategias de transferencia tecnológica deberían posicionarse explícitamente como soluciones a este problema antes que como oportunidades de negocio adicional.

La distribución municipal de la muestra, con predominio de cervecerías en Puebla (48%), San Pedro Cholula (32%) y San Andrés Cholula (16%), es coherente con la concentración geográfica del sector cervecero artesanal en la entidad y permite identi-

car estos tres municipios como territorios prioritarios para el diseño de intervenciones de valorización. La proximidad geográfica entre estos municipios facilita además la implementación de modelos colaborativos de gestión del bagazo, donde varias cervecerías puedan compartir infraestructura de producción de hongos, reduciendo así los costos de inversión inicial.

La brecha entre conocimiento declarativo (52% afirmó saber que es posible producir hongos con bagazo) y conocimiento procedimental (72% desconoce el proceso) es un hallazgo clave que coincide con lo observado por Xochipa-Morante *et al.* (2024) en el estudio de sistemas de recolección de hongos silvestres en la Sierra Nevada de Puebla: en ambos casos, el conocimiento sobre los hongos como recurso existe de manera difusa en el territorio, pero no se traduce en prácticas productivas sistemáticas por falta de acompañamiento técnico y canales de transferencia de conocimiento. Este patrón, ampliamente documentado en la literatura de adopción de innovaciones (Montes de Oca *et al.*, 2021), subraya la importancia de intervenciones de capacitación prácticas que articulen teoría y práctica en contextos reales de producción.

El elevado interés declarado (72% lo calificó como interesante o muy interesante) y la alta disposición a capacitarse (88%) contrastan positivamente con la brecha de conocimiento técnico, lo que sugiere que las barreras de adopción son principalmente de tipo informacional y de acceso a recursos técnicos, no de resistencia actitudinal. Los testimonios recopilados en este estudio son ilustrativos al respecto: los cerveceros reconocen el valor potencial de la propuesta, pero condicionan su adopción al acceso a acompañamiento técnico confiable. Según Pale y Guzmán (2021), la expansión de la producción de hongos comestibles en México ha estado históricamente vinculada a programas de capacitación comunitaria y a la disponibilidad de material de siembra (semilla de hongo). En este sentido, la disposición expresada podría capitalizarse a través de modelos de transferencia tecnológica acompañada, vinculando a las cervecerías con instituciones de investigación como el Colegio de Postgraduados o el INIFAP.

Desde la perspectiva del desarrollo sustentable, la producción de hongos comestibles a partir de bagazo cervecero representa un caso paradigmático de economía circular: el residuo de un proceso industrial se convierte en insumo de otro proceso productivo, generando alimentos nutritivos, reduciendo la presión sobre el sistema de gestión de residuos y creando valor económico adicional (Rodríguez *et al.*, 2017). Esta cadena de valorización es coherente con las metas de los ODS 2030, especialmente el objetivo 12 (producción y consumo responsables) y el objetivo 2 (hambre cero), dado que los hongos comestibles son reconocidos como un alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que contribuyen a la seguridad alimentaria (El-Ramady *et al.*, 2022). En regiones como la Sierra Nevada de Puebla, los hongos comestibles, tanto silvestres como cultivados, ya forman parte de los denominados alimentos locales, saludables y

de especialidad, que están adquiriendo relevancia en circuitos comerciales de proximidad (Xochipa-Morante *et al.*, 2025).

En términos de limitaciones, el diseño muestral no probabilístico impide generalizar los resultados al universo total de cervecerías de la región. Asimismo, el tamaño de muestra ($n=25$) limita la aplicación de análisis multivariados que permitan identificar perfiles de adopción diferenciados por tamaño de empresa, años de operación o capacidad productiva. Futuras investigaciones deberían contemplar diseños muestrales probabilísticos, la inclusión de análisis fisicoquímicos del bagazo generado por distintas cervecerías para caracterizar su variabilidad como sustrato, y el desarrollo de experimentos de producción de hongos a escala piloto en cervecerías participantes. Igualmente, sería pertinente evaluar la viabilidad económica y ambiental de la cadena bagazo-hongo comestible mediante análisis de ciclo de vida y modelos de costo-beneficio.

CONCLUSIONES

El presente estudio ofrece un diagnóstico inicial sobre la gestión del bagazo cervecero en la Zona Metropolitana de Puebla y el potencial de su aprovechamiento para la producción de hongos comestibles. Los principales hallazgos permiten formular las siguientes conclusiones:

Las cervecerías artesanales de la región generan volúmenes de bagazo húmedo mensual que, si bien son variables según la escala de cada establecimiento, resultan manejables para la implementación de módulos de producción micológica sin requerir infraestructura de gran escala. Los municipios de Puebla, San Pedro Cholula y San Andrés Cholula concentran la mayor densidad de unidades productivas, lo que los convierte en los territorios prioritarios para el diseño de estrategias de valorización. La práctica de disposición predominante, la entrega gratuita del bagazo para alimentación de ganado, refleja un subaprovechamiento sistemático del potencial biotecnológico del residuo, mientras que una proporción relevante de establecimientos opta por desecharlo sin uso alguno, lo que representa un riesgo ambiental concreto. De manera consistente, los cerveceros que mantienen el bagazo en sus instalaciones reportaron que su acumulación genera complicaciones operativas recurrentes, entre ellas proliferación de plagas, contaminación por mohos no deseados y reducción del espacio productivo disponible.

El estudio identificó una brecha clara entre el conocimiento declarativo, saber que es posible producir hongos comestibles a partir del bagazo, y el conocimiento técnico-procedimental necesario para llevarlo a la práctica. Los testimonios de los cerveceros evidencian que esta brecha no responde a desinterés ni a resistencia actitudinal, sino a la ausencia de canales institucionales de transferencia de conocimiento accesibles para el sector. En este sentido, el interés ampliamente expresado por los productores, así como su disposición favorable hacia la capacita-

ción, señalan que las barreras de adopción son principalmente de orden informacional y técnico. Las voces recogidas en el estudio apuntan de manera consistente a que el acompañamiento técnico continuo es la condición fundamental para convertir esa disposición en acción productiva concreta.

Los resultados configuran un escenario favorable para el diseño e implementación de programas piloto de valorización del bagazo cervecero mediante la producción de hongos comestibles en municipios del estado de Puebla. Esta propuesta tendría impactos positivos en las tres dimensiones del desarrollo sustentable: ambiental, mediante la reducción de residuos y emisiones; social, fortaleciendo la seguridad alimentaria y generando empleo local; y económica, al transformar un residuo de bajo valor en un producto de alto valor comercial articulado con circuitos cortos de comercialización.

Se recomienda diseñar e implementar programas de capacitación técnica en buenas prácticas de producción de hongos comestibles sobre sustratos agroindustriales, articulados entre las

cervecerías participantes, instituciones de investigación y dependencias gubernamentales con competencia en desarrollo agropecuario. Asimismo, se sugiere explorar modelos colaborativos de gestión del bagazo entre cervecerías cercanas geográficamente, y realizar estudios complementarios con muestreo probabilístico, análisis fisicoquímicos del bagazo y evaluaciones piloto de producción que permitan escalar las conclusiones de este diagnóstico exploratorio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los cervecedores artesanales de Puebla que participaron voluntariamente en el estudio.

CUMPLIMIENTO EDITORIAL

Los autores declaran que este manuscrito es original, no está en evaluación en otra revista, y cumple con el límite de autorías. Además, los autores declaran que no hay ningún conflicto de intereses con la revista Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio.

REFERENCIAS

- Aguiar, S., Enríquez, E. M., y Uvidia, C. H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Axioma*, 1(27), 5–11. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2024). *División política*. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Dey, P. K., Malesios, C., De, D., Budhwar, P., Chowdhury, S., y Cheffi, W. (2022). Circular economy to enhance sustainability of small and medium sized enterprises. En *Supply chain sustainability in small and medium sized enterprises* (pp. 10–45). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003018551-2>
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P., Eid, Y., y Prokisch, J. (2022). Edible mushrooms for sustainable and healthy human food: Nutritional and medicinal attributes. *Sustainability*, 14(9), 4941. <https://doi.org/10.3390/su14094941>
- Gobierno del Estado de Puebla. (2023). Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla (reforma agosto 2023). Honorable Congreso del Estado. https://www.congresopuebla.gob.mx/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=14128&Itemid=
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Kumla, J., Suwannarach, N., Sujarit, K., Penkhru, W., Kakumyan, P., Jatuwong, K., Vadthananat, S., y Lumyong, S. (2020). Cultivation of mushrooms and their lignocellulolytic enzyme production through the utilization of agro-industrial waste. *Molecules*, 25(12), 2811. <https://doi.org/10.3390/molecules25122811>
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., y Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: A review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568. <https://doi.org/10.1002/jib.363>
- Macías, M. A. y Sevilla, G. Y. L. (2021). Desarrollo agroindustrial y degradación ambiental en México (1941–2021). *Observatorio Medioambiental*, 24, 195–228. <https://doi.org/10.5209/obmd.79522>
- Mitri, S., Salameh, S. J., Khelfa, A., Leonard, E., Maroun, R. G., Louka, N., y Koubaa, M. (2022). Valorization of brewers' spent grains: Pretreatments and fermentation, a review. *Fermentation*, 8(2), 50. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020050>
- Montes de Oca, M. O., Pannell, D. J., y Llewellyn, R. (2021). Understanding the adoption of innovations in agriculture: A review of selected conceptual models. *Agronomy*, 11(1), 139. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010139>
- Nigam, P. S. (2017). An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewery. *Waste Management*, 62, 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.018>
- Pale, S. H. y Guzmán, A. O. (2021). El territorio y actores sociales del sistema de producción de hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*, sp.) en Aldama, Chiapas. *Horizontes Territoriales*, 1(2), 1–25. <https://horizontesterritoriales.unach.mx/index.php/Revista/article/view/6>
- Piña-Guzmán, A. B., Nieto-Monteros, D. A. y Robles-Martínez, F. (2017). Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 141–151. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.10>
- Purvis, B., Mao, Y., y Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: In search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- Rodríguez, G. A., Mondaini, A. O. y Hirschfeld, A. M. (2017). *Bioeconomía en América Latina y el Caribe, contexto global y regional y perspectivas*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/42427>
- Ruan-Soto, F., Sánchez, J. E., Noyola-Méndez, L., Ramírez-Terrazo, A., Garibay-Orijel, R., y Cifuentes, J. (2025). Aprovechamiento de los hongos comestibles en México: una tradición que trasciende al futuro. *Lilloa*, 62(S1), 181–202. <https://doi.org/10.30550/j.lil/1822>
- SAGARPA-SIACON. (2020). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Terefe, G. (2022). Preservation techniques and their effect on nutritional values and microbial population of brewer's spent grain: A review. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00120-8>
- Unión cervecera independiente. (2022). *Reporte de la industria cervecera independiente mexicana 2021*. <https://unioncervecera.mx/>
- Velenturf, A. P., y Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437–1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Wang, D., Sakoda, A., y Suzuki, M. (2001). Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated on spent beer grain. *Bioresource Technology*, 78(3), 293–300. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00002-5)

Xochipa-Morante, J. R., Xochipa-Morante, R. C., Carmona-Silva, J. L., Vargas-Picado, H., y Macías-López, A. (2024). Recolección de hongos comestibles silvestres en la Sierra Nevada de Puebla: alternativa de diversificación productiva y desarrollo territorial. *Revista Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 4(1), 51–59. <https://academiajournals.dropmark.com/1659375/35179617>

Xochipa-Morante, R. C., Rosas-Gallo, A., Xochipa-Morante, J. R., Lacayo-Romero, M. L., Carmona-Silva, J. L., Macías-López, A., y Cantellano-Rodríguez, H. (2025). Anthocyanins in local, healthy and specialty agrifood from the Sierra Nevada of Puebla. *Agro Productividad*, 18(11), 135–143. <https://doi.org/10.32854/9y46z730>



ARTÍCULO ORIGINAL · SALUD, BIENESTAR Y SOSTENIBILIDAD

Antocianinas en maíz azul y berries del Izta-Popo: impacto en salud comunitaria y estrategias alimentarias

Reyna Concepcion Xochipa-Morante^{1*}, Jose Roberto Xochipa-Morante²

¹ El Colegio de Tlaxcala A.C., Centro de Estudios en Desarrollo Regional y Análisis Económico, Maestría en Desarrollo Regional, San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala, México

² Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México

* Autor(a) por correspondencia: reynaxochipamorante@gmail.com · ORCID: 0000-0002-7498-8037

RESUMEN

El presente artículo analiza el impacto de las antocianinas, específicamente la cianidina-3-glucósido (C3G), presentes en el maíz azul nativo (*Zea mays* L.), la zarzamora y la frambuesa cultivados en sistemas familiares de tres localidades del Izta-Popo de Puebla, San Mateo Ozolco, San Miguel Tianguizolco y San Diego Buenavista, con el propósito de proponer estrategias de alimentación saludable adaptadas al perfil socioeconómico, cultural y epidemiológico de estas comunidades productoras. Se realizó una revisión sistemática exploratoria en bases de datos académicas arbitradas de alto impacto, con criterio de exclusión de estudios con antigüedad superior a 10 años, complementada con fuentes oficiales de salud pública para caracterizar las principales problemáticas sanitarias de las localidades estudiadas. Los resultados documentan que la C3G actúa sobre múltiples mecanismos fisiológicos relevantes para las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) prevalentes en la región: inhibición de la α -glucosidasa, regulación del perfil glucémico y lipídico, inhibición de la adipogénesis, vasodilatación endotelial mediada por óxido nítrico, actividad anticancerígena y reducción del estrés oxidativo. Las concentraciones registradas en los cultivos superan los umbrales recomendados para efectos nutraceuticos (49–133 mg diarios para un adulto de 70 kg), sustentando su potencial como alimentos funcionales de alto impacto en la salud comunitaria. El análisis epidemiológico revela altas prevalencias de diabetes, obesidad, hipertensión y desnutrición crónica infantil en las tres comunidades, lo que fundamenta estrategias de alimentación saludable diferenciadas por localidad. Dichas estrategias integran el valor nutraceutico documentado con los circuitos cortos de comercialización, la educación alimentaria, el etiquetado funcional y los programas públicos existentes, configurando un modelo de intervención que articula salud comunitaria, soberanía alimentaria y desarrollo rural con identidad territorial. El estudio contribuye al cumplimiento de ODS y se alinea con la política nacional de defensa de los maíces nativos y los programas estatales de desarrollo rural poblano.

Palabras clave: antocianinas; cianidina-3-glucósido; salud comunitaria; estrategias alimentarias; desarrollo rural; maíz azul; berries; Izta-Popo de Puebla

ABSTRACT

This article analyzes the impact of anthocyanins, specifically cyanidin-3-glucoside (C3G), present in native blue corn (*Zea mays* L.), blackberries, and raspberries cultivated in family farming systems in three communities in the Izta-Popo of Puebla, San Mateo Ozolco, San Miguel Tianguizolco, and San Diego Buenavista, with the aim of proposing healthy eating strategies adapted to the socioeconomic, cultural, and epidemiological profile of these farming communities. An exploratory systematic review was conducted using high-impact, peer-reviewed academic databases, excluding studies older than 10 years. This was supplemented with official public health sources to characterize the main health problems in the studied communities. The results document that C3G acts on multiple physiological mechanisms relevant to the prevalent non-communicable chronic diseases (NCDs) in the region: inhibition of α -glucosidase, regulation of the glycemic and lipid profile, inhibition of adipogenesis, nitric oxide-mediated endothelial vasodilation, anticancer activity, and reduction of oxidative stress. The concentrations recorded in the crops exceed the recommended thresholds for nutraceutical effects (49–133 mg daily for a 70 kg adult), supporting its potential as a functional food with a high impact on community health. The epidemiological analysis reveals high prevalences of diabetes, obesity, hypertension, and chronic childhood malnutrition in the three communities, justifying localized, differentiated healthy eating strategies. These strategies integrate documented nutraceutical value with short supply chains, nutrition education, functional labeling, and existing public programs, creating an intervention model that links community health, food sovereignty, and rural development with a strong

sense of place. The study contributes to achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) and aligns with the national policy for the protection of native maize varieties and the state rural development programs in Puebla.

Keywords: anthocyanins; cyanidin-3-glucoside; community health; food strategies; rural development; blue corn; berries; Izta-Popo of Puebla

Cómo citar: Xochipa-Morante, R.C. & Xochipa-Morante, J.R. (2026). Antocianinas en maíz azul y berries del Izta-Popo: impacto en salud comunitaria y estrategias alimentarias. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 53–62.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. **CC BY-NC 4.0**

INTRODUCCIÓN

El sistema agroalimentario mundial hegemónico ha transformado radicalmente los patrones de producción y consumo, desplazando agroalimentos locales y diversificados por productos ultraprocesados con altos contenidos de azúcares, sal, grasas saturadas y aditivos sintéticos. Esta transición alimentaria ha debilitado de manera progresiva los sistemas campesinos, la diversidad de cultivos, los procesos de transformación artesanal y la comercialización local, agravando simultáneamente la inseguridad alimentaria y el incremento de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), como la obesidad, la diabetes tipo 2, la hipertensión arterial y ciertos tipos de cáncer (Torres y Rojas, 2024). El problema se intensifica de manera paradójica en zonas rurales e indígenas, donde se producen agroalimentos de alto valor nutricional y funcional que han sido progresivamente desplazados tanto de la dieta local como de los circuitos de comercialización formal.

En México, el 55.5% de los hogares vive en condiciones de inseguridad alimentaria, con el estado de Puebla entre las entidades más afectadas (Instituto Nacional de Salud Pública [INSP], 2020). Esta situación es particularmente crítica en comunidades rurales e indígenas de la Zona Izta-Popo de Puebla, ubicadas en los municipios de Calpan y Huejotzingo, donde la producción de agroalimentos funcionales como el maíz azul nativo (*Zea mays* L.) y berries silvestres como la zarzamora (*Rubus fruticosus*) y frambuesa (*Rubus idaeus*), coexiste con altas prevalencias de diabetes, obesidad, hipertensión y desnutrición crónica infantil (INSP, 2020; Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL], 2020). Esto muestra una oportunidad estratégica para revalorizar el potencial nutraceutico de los cultivos locales y convertirlos en una herramienta de política pública para el bienestar comunitario.

Las antocianinas son pigmentos del grupo de los flavonoides que confieren tonalidades rojizas, moradas y azuladas a frutas, vegetales y cereales. Entre ellas, la cianidina-3-glucósido (C3G) es la antocianina más abundante en el maíz azul, la zarzamora y la frambuesa, y es reconocida científicamente por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y reguladoras del metabolismo (Bars-Cortina et al., 2022). La C3G pertenece a la familia de

los flavonoides antocianínicos, cuya estructura química confiere una alta reactividad frente a los radicales libres y una capacidad de modulación de vías enzimáticas clave en el metabolismo de los carbohidratos, los lípidos y la respuesta inflamatoria. Investigaciones recientes la vinculan con la prevención de ECNT, la modulación de la glucosa sanguínea, la inhibición del almacenamiento de lípidos y la protección celular frente al estrés oxidativo (Ye et al., 2021; Kongthitlerd et al., 2023).

La importancia socioeconómica de los cultivos analizados en la Zona Izta-Popo de Puebla es significativa. En San Diego Buenavista, segundo productor estatal de berries, se generan más de 11 millones de pesos mexicanos por 383 toneladas de frambuesa y 2.6 millones por 103 toneladas de zarzamora (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024). En San Miguel Tianguizolco y San Mateo Ozolco, el maíz azul nativo no solo representa un cultivo de valor económico, sino también un elemento central de identidad cultural y lingüística ligado a la cosmovisión náhuatl y a las prácticas gastronómicas de la región, contribuyendo a las 6,825 toneladas estatales cultivadas en 1,606 hectáreas con un valor mayor a 43 millones de pesos (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON], 2023). Los sistemas de producción familiar, con manejo tradicional, en transición o agroecológico, inciden directamente en la concentración de antocianinas y, por tanto, en la calidad funcional de estos agroalimentos (Feng et al., 2024). Sin embargo, la mayoría de los estudios se enfocan en cultivares comerciales, ignorando variedades nativas y silvestres en contextos rurales e indígenas (Vázquez-Carrillo et al., 2025).

La relevancia del presente estudio radica en visibilizar el valor nutraceutico y socioeconómico de los agroalimentos producidos en sistemas familiares de la Sierra Nevada Poblana, y en proponer estrategias de alimentación saludable que vinculen la evidencia científica con el contexto territorial, cultural y epidemiológico de las comunidades productoras. El artículo se enmarca en la temática de Salud, Bienestar y Sostenibilidad y tiene como objetivo revisar la literatura científica sobre los mecanismos de acción de la C3G y su impacto en la desnutrición y las ECNT, a fin de proponer estrategias alimentarias culturalmente pertinentes para las comunidades productoras de maíz azul, zarzamora y frambuesa de la Zona Izta-Popo de Puebla.

La hipótesis que orienta el estudio sostiene que los agroalimentos ricos en C3G producidos en la Zona Izta-Popo de Puebla poseen propiedades funcionales y nutraceuticas suficientes para integrarse en estrategias de alimentación saludable que contribuyan a reducir la carga de las ECNT y la desnutrición en las comunidades productoras, fortaleciendo simultáneamente la economía local, la soberanía alimentaria y el patrimonio agrobio-cultural. La ausencia de este tipo de intervenciones integradas seguiría marginando saberes, cultivos y territorios clave para la transición hacia sistemas alimentarios saludables, sostenibles y culturalmente apropiados.

METODOLOGÍA

El estudio forma parte de una investigación de tipo cuantitativo y cualitativo, con diseño exploratorio-descriptivo y analítico, desarrollado en el 2025. El presente artículo reporta exclusivamente los resultados correspondientes a la revisión teórica del impacto de las antocianinas en la salud y a las estrategias de alimentación saludable en zonas productoras que es posible implementar.

Área de estudio

La investigación se desarrolló en tres localidades de la Zona Izta-Popo de Puebla con perfiles productivos diferenciados: 1)

San Mateo Ozolco, perteneciente al municipio de Calpan, se ubica a una altitud de 2674 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) con clima templado subhúmedo y suelos volcánicos fértiles de origen andosólico. El principal cultivo es el maíz azul nativo (*Zea mays* L.), gestionado bajo sistemas agroecológicos familiares que combinan prácticas ancestrales con conocimientos locales de selección de semilla. Esta comunidad se distingue por su población hablante náhuatl, en donde el maíz azul constituye un eje central de su identidad cultural, gastronómica y lingüística. 2) San Miguel Tianguizolco, localizado en el municipio de Huejotzingo a una altitud de 2343 m s.n.m., también destaca por el cultivo de maíz azul nativo cultivado bajo sistemas tradicionales de manejo, empleando fertilización mineral (NPK, DAP y UREA). Los agroalimentos producidos en esta comunidad se venden en circuitos cortos de comercialización (CCC) y ferias agroalimentarias locales, lo que fortalece el vínculo productor-consumidor y la valorización de los productos del campo. 3) San Diego Buenavista, perteneciente al municipio de Huejotzingo, se ubica a 2541 m s.n.m., destaca por ser el segundo productor estatal de berries en la entidad poblana (Figura 1).

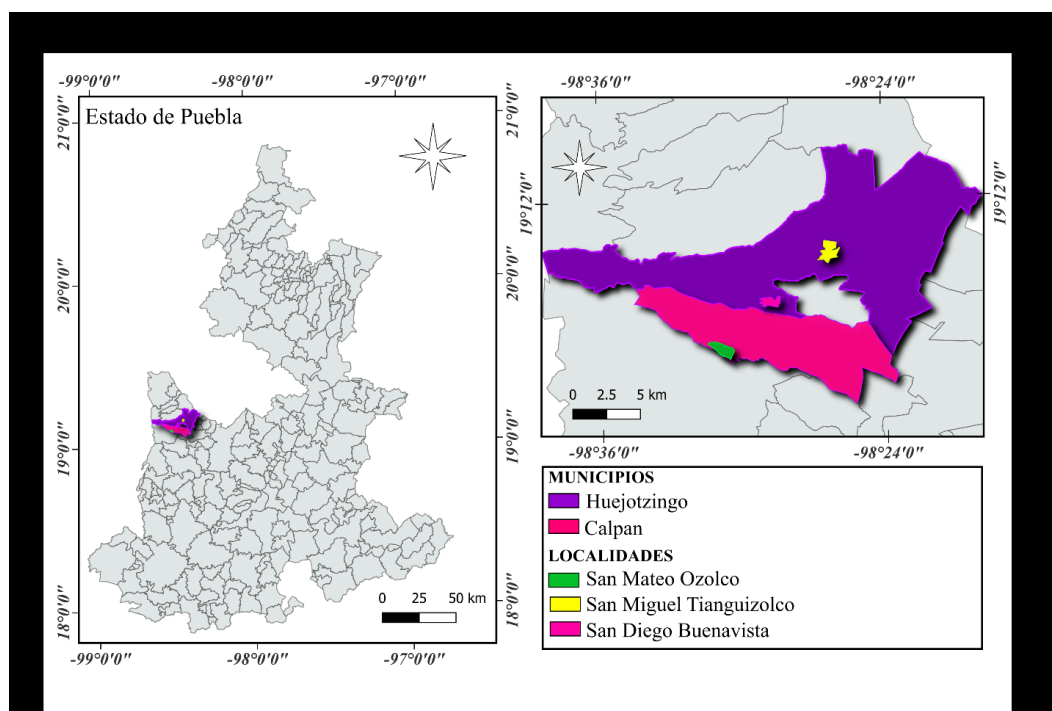


Figura 1

Localización geográfica de la zona de estudio con escala gráfica (2.5–5 km y 25–50 km) y rosa de los vientos.

Nota. Elaboración propia de Seth Galindo Juárez utilizando el software QGIS versión 3.40.

La principal actividad económica de San Diego Buenavista se orienta principalmente a la producción de zarzamora (*Rubus fruticosus*, variedad Maravilla) y la frambuesa (*Rubus idaeus*, variedad Tuppy) con antocianinas, bajo sistemas de producción en

transición agroecológica. La comunidad articula la producción agrícola con ferias locales, como la «Feria de las Berries», mercados regionales como la central de abastos de Puebla y el turismo comunitario mediante la «Ruta de las Berries», configurando

un tejido sociocomercial que vincula producción familiar, identidad territorial y acceso a nichos de especialidad.

Las tres localidades de estudio comparten condiciones de alta marginación, migración, presencia de población indígena hablante del náhuatl así como elevados niveles de inseguridad alimentaria (CONEVAL, 2020; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020), lo que refuerza la pertinencia de analizar sus perfiles epidemiológicos con relación a los cultivos que producen para proponer estrategias alimentarias orientadas al bienestar de las propias familias productoras.

Revisión sistemática exploratoria

La revisión bibliográfica se realizó en bases de datos académicas arbitradas e indexadas de alto impacto como Google Scholar, Scopus, SciELO, Redalyc y Web of Science. La estrategia de búsqueda utilizó términos como: *cyanidin-3-glucoside*, *anthocyanins*, *blue corn*, *blackberry*, *raspberry*, *nutraceutical*, *chronic diseases*, *malnutrition*, *diabetes*, *obesity*, *hypertension*, *cancer*, *antioxidant*, *adipogenesis*, *oxidative stress*, *food strate-*

gies y *community health*. También se utilizaron operadores booleanos (AND, OR, NOT) para optimizar la recuperación de información relevante y reducir el ruido documental.

El criterio de exclusión establecido fue una antigüedad mayor a 10 años, dando prioridad a investigaciones publicadas entre 2015 y 2025, con mayor prioridad en el periodo 2020–2025. Se seleccionaron estudios *in vitro*, *in vivo* (modelos animales) y estudios clínicos en poblaciones humanas, así como revisiones con evaluaciones de mecanismos de acción de la C3G y sus efectos sobre las principales ECNT y la desnutrición. También se descartaron investigaciones que no reportaran resultados cuantitativos o que presentaran sesgos metodológicos graves según los criterios de calidad establecidos por las propias bases de datos.

A fin de fortalecer la transparencia metodológica de la revisión sistemática exploratoria, la Tabla 1 sintetiza el proceso de identificación, cribado, evaluación a texto completo e inclusión final de la literatura consultada en este estudio.

Tabla 1
Proceso de selección de la literatura en la revisión sistemática exploratoria

Etapa del proceso			Criterio aplicado	N° de registros
Identificación			Registros localizados en Web of Science, Scopus, SciELO, Redalyc y Google Scholar mediante los términos de búsqueda combinados con operadores booleanos	165
Eliminación de duplicados			Registros duplicados entre bases de datos	42
Cribado (título y resumen)			Registros excluidos por antigüedad mayor a 10 años (anteriores a 2015)	19
Cribado (título y resumen)			Registros excluidos por no abordar mecanismos de acción de la C3G ni su relación con ECNT o desnutrición	71
Evaluación completo	de	texto	Artículos evaluados a texto completo	33
Evaluación completo	de	texto	Artículos excluidos por no reportar resultados cuantitativos	12
Evaluación completo	de	texto	Artículos excluidos por sesgos metodológicos graves	8
Inclusión final			Artículos incluidos en la síntesis de evidencia sobre los siete mecanismos de acción de la C3G	13

Nota. El proceso de cribado y evaluación se realizó conforme a los criterios de inclusión y exclusión descritos. Elaboración propia.

Diagnóstico epidemiológico y diseño de estrategias

Para la caracterización del perfil epidemiológico de las comunidades productoras se consultaron la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018–2019 (ENSANUT; INSP, 2020), los registros de mortalidad del INEGI (2020) y los indicadores de pobreza y marginación del CONEVAL (2020). Estos datos permitieron identificar las principales causas de morbilidad y mortalidad en Ozolco, Tianguizolco y Buenavista, diferenciadas por grupo etario, sexo y tipo de enfermedad, estableciendo la correspondencia entre los mecanismos de acción documentados de la C3G y los problemas de salud prevalentes en cada localidad.

La síntesis de la evidencia científica y el diagnóstico sociosanitario sirvieron de materia prima para la elaboración de estrategias de alimentación saludable adaptadas al contexto territorial, socioeconómico y cultural de cada comunidad de estudio. El principio ético rector del análisis fue el de justicia alimentaria, estableciendo que quienes cultivan estos agroalimentos deben ser los primeros beneficiarios de sus propiedades nutraceuticas, especialmente dada su alta vulnerabilidad sanitaria. Las estrategias se diseñaron considerando los principios de interculturalidad, participación comunitaria y pertinencia territorial, articulando el conocimiento científico con los saberes locales, prácticas gastronómicas tradicionales y dinámicas sociocomerciales de la región.

RESULTADOS

Mecanismos de acción de la C3G en las ECNT prevalentes

La revisión exploratoria identificó evidencia científica sobre siete mecanismos de acción de la cianidina-3-glucósido (C3G) relacionados con los problemas de salud predominantes en las comunidades productoras de la Zona Izta-Popo de Puebla. A continuación se describen los hallazgos documentados por la literatura, clasificados según su nivel de evidencia (*in vitro*, *in vivo* animal o ensayo clínico en humanos), a fin de precisar la solidez de cada afirmación.

Inhibición de la α -glucosidasa (nivel de evidencia: estudios *in vitro*/experimental con harinas de maíz procesado). La C3G actúa como inhibidor competitivo de la α -glucosidasa, enzima intestinal responsable de la hidrólisis de carbohidratos complejos y la liberación de glucosa en el intestino delgado. Al inhibir esta enzima, se retarda la absorción de glucosa postprandial, previniendo los picos hiperglucémicos asociados al desarrollo y progresión de la diabetes tipo 2. Este mecanismo ha sido ampliamente evidenciado experimentalmente en investigaciones con harinas de maíz azul nixtamalizado y extruido (León-Murillo et al., 2021). Las concentraciones de C3G reportadas por Xochipa-Morante et al. (2025) en granos de maíz azul de Tianguizolco ($893.7 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) y Ozolco ($673.5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) parecen ser suficientes para generar efectos hipoglucemiantes significativos en condiciones de consumo habitual.

Regulación de la glucemia y el perfil lipídico (nivel de evidencia: *in vivo* animal y ensayo clínico en humanos). Al consumo de maíces pigmentados ricos en antocianinas se le ha atribuido la reducción de los niveles de glucosa en ayuno, la disminución de triglicéridos circulantes y el incremento del colesterol de alta densidad (HDL), favoreciendo el control metabólico en personas con diabetes tipo 2 y síndrome metabólico (Quiñones-Muñoz et al., 2022). Estos efectos han sido documentados tanto en modelos animales con inducción de hiperglucemia como en estudios de intervención en poblaciones humanas con riesgo cardiovascular.

Regulación de la adipogénesis y prevención de la obesidad (nivel de evidencia: *in vitro*, línea celular 3T3-L1, e *in vivo* animal). La C3G inhibe la diferenciación de preadipocitos 3T3-L1 y el almacenamiento de lípidos en células adiposas mediante la activación de la vía PLC-IP3, reduciendo la acumulación de triacilglicerolos intracelulares (Kongthitlerd et al., 2023). Estudios con extractos de frambuesa (*Rubus idaeus*) han demostrado que la administración de dosis equivalentes a las concentraciones reportadas en los frutos de Buenavista reduce significativamente la acumulación de grasa en modelos *in vitro* e *in vivo*.

Vasodilatación mediada por óxido nítrico (nivel de evidencia: *in vivo* animal, modelo de hipertensión en ratas, y estudios observacionales en humanos). La C3G estimula la síntesis endotelial de óxido nítrico (NO) mediante la activación del óxido nítrico sintasa endotelial (eNOS), induciendo relajación del músculo liso vascular y vasodilatación, favoreciendo la reducción de la resistencia vascular periférica y la disminución de la presión arterial sistémica (Fushimi et al., 2022). Este mecanismo ha sido documentado en modelos de hipertensión inducida en ratas y en estudios observacionales en poblaciones con riesgo cardiovascular.

Actividad anticancerígena (nivel de evidencia: *in vitro*, líneas celulares tumorales). La C3G ha demostrado actividad inhibidora de metástasis e inductora de apoptosis en células tumorales de cáncer colorrectal, de mama y hepático, mediante la modulación de las vías de señalización NF- κ B y MAPK y la inducción de la muerte celular programada por vía mitocondrial (Bars-Cortina et al., 2022). Estudios realizados con extractos de zarzamora (*Rubus fruticosus*) documentaron la inhibición de la proliferación celular en líneas tumorales y el potencial hepatoprotector de la C3G (Rubio et al., 2019).

Reducción del estrés oxidativo y restauración antioxidante (nivel de evidencia: *in vitro*/mecanístico). La C3G neutraliza especies reactivas de oxígeno (ROS) y restaura la capacidad antioxidante endógena mediante la activación de la vía Nrf2-ARE y la inducción de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa (GPx) (Ye et al., 2021). En escenarios de malnutrición severa, donde el estrés oxidativo se encuentra crónicamente elevado, el consumo habitual de alimentos ricos en C3G actúa como estrategia nutricional protectora frente al daño celular crónico.

Efectos antienviejecimiento y protección del metabolismo celular (nivel de evidencia: *in vitro*, línea celular pancreática). La C3G exhibe propiedades anti-senescencia documentadas en células pancreáticas β , donde protege frente a la apoptosis inducida por glucotoxicidad, preservando la capacidad secretora de insulina (Lee et al., 2015). Estos efectos contribuyen a la longevidad metabólica saludable y a la reducción de la carga oxidativa asociada al envejecimiento, con implicaciones directas para los adultos mayores de las tres comunidades.

Perfil epidemiológico de las comunidades productoras

El análisis de fuentes oficiales de salud pública (INSP, 2020; INEGI, 2020; CONEVAL, 2020) permitió caracterizar el perfil epidemiológico de las tres localidades, evidenciando distribuciones diferenciadas por sexo, grupo etario y tipo de enfermedad. Esta información, de escala nacional y estatal, permitió obtener una aproximación a las condiciones de salud y sociodemográficas de las comunidades estudiadas. Las variables analizadas fueron manejadas como estimaciones aproximadas, lo que permitió

contextualizar los indicadores epidemiológicos respecto de las condiciones observadas en las comunidades de estudio.

San Mateo Ozolco presenta diabetes en adultos mayores de 55–59 años (17.2%), obesidad en jóvenes de 25–34 años (29.3%), hipertensión en mayores de 50 años (26.8%) y desnutrición crónica y aguda en menores de cinco años (18–22%). La coexistencia de desnutrición infantil y obesidad en adultos jóvenes es indicativa de la doble carga de la malnutrición, fenómeno creciente en comunidades rurales en proceso de transición nutricional. San Miguel Tianguizolco muestra el perfil más complejo desde el punto de vista de las ECNT: enfermedades cardíacas en adultos mayores varones (20.9%), diabetes en adultos de 45 a 74 años (18.2%), cáncer en adultos mayores de 35 a 74 años (10.0%) y enfermedades hepáticas en varones de 25 a 59 años (7.1%). Este cuadro sugiere una elevada exposición a factores de riesgo metabólico y oxidativo en la población masculina

adulto y mayor. San Diego Buenavista registra la mayor prevalencia de obesidad femenina de las tres localidades (38.6% en mujeres de 30–59 años), acompañada de diabetes tipo 2 en adultos mayores de 50 años (11.2%), hipertensión en mayores de 60 años (23.6%) y desnutrición crónica infantil en menores de cinco años (13.4%).

Estrategias de alimentación saludable en zonas productoras

Con base en la correspondencia entre los mecanismos de acción de la C3G y los perfiles epidemiológicos de cada comunidad, la Tabla 2 presenta las estrategias de alimentación saludable propuestas para cada localidad, orientadas desde el principio de justicia alimentaria e integrando saberes locales, prácticas gastronómicas tradicionales y dinámicas sociocomerciales de la región.

Tabla 2
Estrategias de alimentación saludable en zonas productoras de la Zona Izta-Popo de Puebla

Localidad	Principales problemas de salud	Estrategia alimentaria para el bienestar comunitario
San Mateo Ozolco	1) Diabetes (17.2%), adultos mayores (55–59 años) y mujeres; 2) Obesidad (29.3%), jóvenes (25–34 años); 3) Hipertensión (26.8%), personas mayores de 50 años; 4) Desnutrición crónica y aguda (18–22%), menores de 5 años	1) Fomentar el consumo de maíz azul en desayunos escolares y comedores comunitarios, con enfoque en la desnutrición infantil; 2) Incorporar etiquetado innovador con leyendas como «rico en antioxidantes» para fortalecer su posicionamiento en nichos de especialidad; 3) Difundir propiedades hipoglucemiantes y antioxidantes mediante infografías o comunicación oral en puntos de venta directa
San Miguel Tianguizolco	1) Enfermedades cardíacas (20.9%), adultos mayores varones (60+ años); 2) Diabetes (18.2%), adultos (45–74 años); 3) Cáncer (10.0%), adultos mayores (35–74 años); 4) Enfermedades hepáticas (7.1%), varones (25–59 años)	1) Fomentar el consumo de maíz azul en ferias agroalimentarias y circuitos cortos de comercialización; 2) Realizar talleres de nixtamalización y elaboración de tortillas/tlacoyos con charlas sobre prevención cardiovascular y oncológica; 3) Enfatizar el efecto vasodilatador, antioxidante, anticancerígeno y de control glucémico en una dieta culturalmente pertinente
San Diego Buenavista	1) Diabetes tipo 2 (11.2%), adultos mayores (50+ años); 2) Obesidad (38.6%), mujeres (30–59 años); 3) Hipertensión (23.6%), mayores de 60 años; 4) Desnutrición crónica infantil (13.4%), menores de 5 años	1) Impulsar modelo de territorio saludable articulando producción de berries, agroturismo y economía rural; 2) Promover inclusión en desayunadores y huertos escolares; 3) Expandir venta en nichos de especialidad con etiquetado funcional destacando valor antioxidante y bajo contenido calórico; 4) Desarrollar talleres y degustaciones gastronómicas desde cocina tradicional hasta platillos gourmet

Nota. Elaborado a partir de datos del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP, 2020). Los valores por localidad son estimaciones aproximadas, dado que no existen registros epidemiológicos oficiales desagregados a nivel de localidad.

DISCUSIÓN

Coherencia entre la evidencia científica y el perfil epidemiológico local

Los mecanismos de acción documentados para la C3G guardan una correspondencia directa y específica con los perfiles de morbilidad de las tres comunidades estudiadas, lo que dota a las estrategias alimentarias propuestas de una sólida base biológica y epidemiológica. La inhibición de la α -glucosidasa y la regulación del perfil glucémico son pertinentes para Ozolco y Tianguizolco, donde la diabetes afecta estimadamente al 17.2% y al 18.2% de la población adulta mayor, respectivamente. Estos hallazgos coinciden con estudios que posicionan a los compuestos

fenólicos de maíces pigmentados nativos como moduladores efíaces del metabolismo glucídico (Vázquez-Carrillo et al., 2025; León-Murillo et al., 2021). El hecho de que las concentraciones de C3G reportadas por Xochipa-Morante et al. (2025) en los cultivos de la región de estudio superen ampliamente los umbrales funcionales establecidos por Bars-Cortina et al. (2022), 49–133 mg diarios para un adulto de 70 kg, refuerza la viabilidad de aprovechar estos agroalimentos para el diseño y puesta en marcha de estrategias de prevención primaria accesible, culturalmente pertinentes.

En el caso de Buenavista, la prevalencia estimada de obesidad en mujeres (38.6%) encuentra respuesta directa en el mecanismo de inhibición de la adipogénesis mediado por la vía PLC-IP3,

documentado en estudios con frambuesa (Kongthitlerd et al., 2023). La disponibilidad local de berries con concentraciones superiores a 900 mg kg^{-1} de C3G para frambuesa y de hasta 5733 mg kg^{-1} de C3G para zarzamora posiciona a estas frutas en una situación de ventaja nutracéutica importante para la salud y alimentación siempre y cuando existan condiciones para el consumo habitual de su propia producción (Xochipa-Morante et al., 2025). Del mismo modo, el efecto vasodilatador mediado por la eNOS (Fushimi et al., 2022) responde al perfil cardiovascular de Tianguizolco, donde las enfermedades cardíacas se estiman como la primera causa de muerte en adultos mayores varones de acuerdo con las estimaciones disponibles.

En cuanto a la actividad anticancerígena de la C3G, documentada en modelos tumorales de cáncer colorrectal, hepático y de mama (Bars-Cortina et al., 2022; Rubio et al., 2019), es importante para Tianguizolco, donde el cáncer se estima representa el 10% de la morbilidad en adultos mayores y las enfermedades hepáticas afectan al 7.1% de los varones adultos. Aunque la causalidad directa requiere estudios de intervención directa en la población, la coincidencia entre el perfil de acción de la C3G y el cuadro epidemiológico local refuerza el argumento para integrar estos agroalimentos en protocolos de prevención y salud comunitaria.

Aportación al marco teórico: justicia alimentaria y soberanía nutracéutica

Desde el marco teórico de la justicia alimentaria (Vía Campesina, 2007; Cadieux y Slocum, 2015), los resultados de este estudio muestran una contradicción profunda: las familias que producen agroalimentos con importante potencial nutracéutico en la región Izta-Popo son también las que muestran serios problemas en la salud comunitaria. Este planteamiento es consistente con la literatura sobre justicia alimentaria, la cual señala que las comunidades productoras quedan excluidas de los beneficios nutricionales y económicos de lo que cultivan, en tanto el valor de sus cosechas es capturado por agentes externos (Cadieux y Slocum, 2015). Esto responde a las dinámicas del sistema agroalimentario hegemónico que mercantiliza el valor funcional de los cultivos locales hacia mercados de especialidad urbanos o de exportación, mientras las comunidades productoras quedan excluidas de sus beneficios nutricionales (Torres y Rojas, 2024). Las estrategias propuestas buscan contribuir a revertir esta situación, reinsertando el valor nutracéutico de los cultivos en el circuito alimentario local como primer eslabón de una cadena del bienestar comunitario.

El concepto de soberanía nutracéutica, entendido como el derecho de las comunidades a acceder y beneficiarse de los compuestos bioactivos presentes en los alimentos que producen, emerge como un complemento necesario de la soberanía alimentaria en contextos rurales con alta presencia de ECNT. La soberanía alimentaria, tal como la plantea Vía Campesina (2007),

tiene que ver con el derecho de los pueblos a decidir sobre su sistema alimentario: qué se siembra, con qué semillas, hacia qué mercados. Por otra parte, la soberanía nutracéutica sitúa el derecho de apropiación y beneficio del valor funcional en la propia comunidad productora, como principio de justicia y no como insumo de extracción. También es importante distinguir este planteamiento de la bioprospección comunitaria. Radice et al. (2020) presentan la bioprospección como un campo vinculado con la exploración y aprovechamiento de los recursos naturales y sus moléculas bioactivas, destacando la necesidad de articular estas actividades con la conservación de la biodiversidad y el posible desarrollo de cadenas de valor, en donde casi siempre los beneficios terminan siendo apropiados por actores externos a las comunidades de origen. Por el contrario, los enfoques de biocomercio que ellos mismos discuten intentan corregir esto, orientándose hacia un uso comercial más incluyente que genere ingresos para los productores y comunidades locales.

La diferencia que interesa establecer en esta investigación no radica en oponer la soberanía nutracéutica y la bioprospección, sino en el destino y control de los beneficios derivados del conocimiento y del valor funcional de los alimentos locales. La soberanía nutracéutica propuesta en este estudio coloca en el centro la importancia de que las comunidades productoras no solo participen en la producción de alimentos con propiedades funcionales medibles (compuestos bioactivos, concentraciones, mecanismos de acción), sino que también tengan acceso a sus beneficios y participen en los procesos de generación, apropiación y distribución del valor asociado con ellos. Esta formulación constituye una aportación conceptual de la presente investigación y no una definición que Radice et al. (2020) hayan planteado.

En cuanto a la etnofarmacología, de acuerdo con Radice et al. (2020), esta se presenta como un campo centrado en documentar los usos tradicionales de las plantas y en contrastar ese conocimiento con evidencia fitoquímica y farmacológica. En su estudio sobre *Maxillaria densa*, exploran los usos medicinales que las comunidades atribuyen a esta planta y posteriormente los analizan en laboratorio para identificar sus metabolitos secundarios y posibles actividades biológicas. Los autores no pasan por alto la cuestión de quién controla este conocimiento una vez que ha sido validado científicamente; simplemente, ese no es el propósito central de su investigación. Justamente ahí es donde esta propuesta de soberanía nutracéutica busca contribuir en mostrar la importancia de colocar en el centro la participación y el control de las comunidades sobre ese conocimiento y sus beneficios.

Desde esta perspectiva, la soberanía nutracéutica propuesta en este trabajo articula dos aspectos relevantes. Por un lado, retoma el carácter colectivo y territorial de la soberanía alimentaria y, por otro, incorpora el interés de la etnofarmacología por identificar y valorar científicamente los componentes bioactivos presentes en los agroalimentos y recursos locales. A estas dimensio-

nes se añade un aspecto que no está desarrollado de manera explícita en ninguno de estos marcos: la necesidad de que los conocimientos y saberes locales, los recursos y los beneficios derivados de su valor funcional permanezcan vinculados en las comunidades que los conservan, utilizan y transmiten. Esto es relevante cuando se plantea la posibilidad de desarrollar cadenas de valor a partir de recursos con potencial bioactivo, como las oportunidades que Radice et al. (2020) identifican para las poblaciones locales.

A partir de ello, este concepto abre nuevas líneas de investigación, entre las que se encuentran: la construcción de indicadores que permitan valorar el acceso de las comunidades a los compuestos bioactivos de sus propios recursos, el diseño de formas de gobernanza del conocimiento y saberes nutraceuticos locales y la identificación de mecanismos que favorezcan que el valor generado a partir de estos recursos permanezca en los territorios de origen. Con esto se espera ir más allá de los indicadores convencionales de seguridad alimentaria o de ingreso agrícola, permitiendo repensar el aprovechamiento de los recursos bioactivos desde una perspectiva de mayor participación, control y beneficio comunitario.

Las investigaciones de Castañeda-Cardona et al. (2024) y Kim et al. (2021) respaldan que las variedades silvestres y semisilvestres de berries, como las de Buenavista, generan concentraciones de antocianinas superiores a las de variedades comerciales intensivas, reforzando la importancia de preservar y valorizar los sistemas de producción familiar frente a la presión de la homogeneización comercial.

La doble carga de la malnutrición estimada en Ozolco y Buenavista, donde la desnutrición infantil coexiste con la obesidad en adultos, es un fenómeno que la literatura identifica como resultado de la transición nutricional acelerada en comunidades rurales (Torres y Rojas, 2024). En este contexto, la C3G actúa sobre ambos extremos del espectro: sus propiedades antioxidantes y protectoras del metabolismo celular son relevantes para la desnutrición (Ye et al., 2021); y su capacidad de inhibir la adipogénesis y regular el perfil lipídico lo es para la obesidad (Kongthitlerd et al., 2023). Esta versatilidad metabólica convierte a los agroalimentos ricos en C3G en herramientas de intervención nutricional de amplio espectro, altamente pertinentes en comunidades con perfiles epidemiológicos mixtos.

Implicaciones para políticas públicas

Los hallazgos del estudio tienen implicaciones directas para la formulación de políticas públicas en materia de salud, alimentación y desarrollo rural. A nivel federal, la evidencia se alinea con los objetivos de los programas Cosechando Soberanía y Alimentación para el Bienestar (Gobierno de México, 2025), que buscan fortalecer los sistemas agroalimentarios locales y reducir la inseguridad alimentaria en comunidades rurales e indígenas. La incorporación de agroalimentos nutraceuticos de la Zona

Izta-Popo de Puebla en programas y políticas públicas podría potenciar su impacto al vincular seguridad alimentaria con prevención de ECNT desde una perspectiva funcional y territorial.

A nivel estatal, los resultados tienen pertinencia con los componentes «Impulso Comercial de Maíces Nativos» (Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado de Puebla [SDR], 2023, art. 14–16) y «Reconversión Productiva hacia Cultivos de Alto Valor Comercial» (SDR, 2023, art. 11–13). La evidencia sobre el alto contenido de C3G en maíces pigmentados de estas comunidades puede utilizarse como argumento técnico-científico para justificar alguna etiqueta de origen geográfica, el etiquetado funcional y la incorporación de estos productos en cadenas de valor especializadas, articulando los beneficios económicos para los productores con el beneficio para la salud de las familias productoras. Asimismo, el estudio se alinea con la reforma constitucional en defensa de los maíces nativos (DOF, 2025) y con los ODS de la Agenda 2030 (2, 3, 12 y 15), configurando un marco normativo que respalda la pertinencia y urgencia de las estrategias propuestas.

Limitaciones y líneas de trabajo futuro

El presente estudio presenta limitaciones que deben tomarse en cuenta al interpretar sus resultados. Primero, la revisión se basa en evidencia generada predominantemente en modelos *in vitro* e *in vivo* con cultivares comerciales, lo que limita la extrapolación directa de los efectos documentados a las condiciones de consumo habitual en las comunidades estudiadas. La biodisponibilidad de las antocianinas varía significativamente según el proceso de transformación del alimento —nixtamalización, secado, fermentación, elaboración de conservas— y los estudios específicos sobre la estabilidad de la C3G en los procesos artesanales propios de la Zona Izta-Popo son limitados.

En segundo lugar, el diagnóstico epidemiológico se basa en fuentes secundarias de escala nacional y estatal, lo que puede limitar la precisión de las particularidades de las tres localidades estudiadas, dado su pequeño tamaño poblacional y sus condiciones de aislamiento geográfico y marginalidad. La realización de estudios epidemiológicos primarios a escala comunitaria constituye una línea de trabajo prioritaria para fortalecer las estrategias propuestas.

En tercer lugar, las estrategias de alimentación saludable propuestas requieren validación participativa con las comunidades y familias productoras, para asegurar su aceptabilidad, viabilidad operativa y sostenibilidad en el mediano y largo plazo. La co-construcción de intervenciones con actores locales —productores, autoridades locales y promotores de la buena salud— es condición necesaria para su apropiación y escalamiento. Las líneas de trabajo futuro que se identifican son: estudios de intervención dietética en poblaciones de las tres comunidades con evaluación de biomarcadores de salud; análisis de la estabilidad y biodisponibilidad de la C3G en preparaciones artesanales loca-

les; diseño y evaluación de programas de educación alimentaria intercultural; y desarrollo de indicadores de soberanía nutracéutica para la evaluación de impacto en el territorio.

CONCLUSIONES

Los efectos documentados de la cianidina-3-glucósido (C3G) en la prevención y manejo de enfermedades crónicas no transmisibles y en la reducción del estrés oxidativo asociado a la desnutrición confieren al maíz azul nativo, la zarzamora y la frambuesa de la Zona Izta-Popo de Puebla un valor estratégico para el bienestar comunitario de las familias productoras. Los siete mecanismos de acción identificados (inhibición de la α -glucosidasa, regulación del perfil glucémico y lipídico, inhibición de la adipogénesis, vasodilatación mediada por óxido nítrico, actividad anticancerígena, reducción del estrés oxidativo y efectos anti-senescencia) representan una base biológica sólida y actualizada para el diseño de intervenciones nutricionales pertinentes para el territorio.

El análisis epidemiológico de las tres comunidades productoras muestra perfiles diferenciados de morbilidad que pueden atenderse con estrategias de alimentación fundamentadas en la C3G. La correspondencia entre los mecanismos de acción documentados y los perfiles de salud de cada localidad muestra la pertinencia

territorial, cultural y epidemiológica necesaria para que las estrategias propuestas puedan ser implementadas de manera efectiva y sostenible. Estas estrategias integran el valor nutracéutico de los cultivos con los circuitos cortos de comercialización, la educación alimentaria intercultural, el etiquetado funcional y los programas públicos existentes, configurando un modelo de intervención que vincula salud comunitaria, desarrollo rural y soberanía alimentaria con identidad territorial.

El estudio fortalece el cumplimiento transversal de los ODS 2, 3, 12 y 15, y se alinea con la reforma constitucional en defensa de los maíces nativos y con los programas estatales de desarrollo rural poblano. Se recomienda profundizar en estudios de intervención comunitaria y en el análisis de la biodisponibilidad de la C3G en procesos de transformación artesanal propios de la región, así como avanzar en la co-construcción participativa de las estrategias alimentarias con los actores locales, como condición necesaria para su apropiación y sostenibilidad territorial.

CUMPLIMIENTO EDITORIAL

Los autores declaran que este manuscrito es original, no está en evaluación en otra revista, y cumple con el límite de autorías. Además, los autores declaran que no hay ningún conflicto de intereses con la revista Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio.

REFERENCIAS

- Bars-Cortina, D., Sakhawat, A., Piñol-Felis, C., y Motilva, M. J. (2022). Chemopreventive effects of anthocyanins on colorectal and breast cancer: A review. *Seminars in Cancer Biology*, 81, 241–258. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2020.12.013>
- Cadioux, K. V., y Slocum, R. (2015). What does it mean to do food justice? *Journal of Political Ecology*, 22(1), 1–26. <https://doi.org/10.2458/v22i1.21076>
- Castañeda-Cardona, C. C., Guerra-Ramírez, D., Martínez-Solís, J., Barrientos-Priego, A. F., Peña-Ortega, M. G., y Morillo-Coronado, Y. (2024). Potencial nutracéutico de frutos de especies silvestres de zarzamora y frambuesa. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 47(1), 11–17. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.1.11>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2020). *Medición de la pobreza: Indicadores de pobreza por municipio*. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Medicion/Medicion-de-la-pobreza-municipal.aspx>
- Diario Oficial de la Federación. (2025). Decreto por el que se reforman los artículos 4° y 27° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de protección del maíz nativo. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5752109&fecha=17/03/2025
- Feng, W., Xue, W., Zhao, Z., Wang, H., Shi, Z., Wang, W., Chen, B., Qiu, P., Xue, J., y Sun, M. (2024). Nitrogen level impacts the dynamic changes in nitrogen metabolism, and carbohydrate and anthocyanin biosynthesis improves the kernel nutritional quality of purple waxy maize. *Plants*, 13(20), 2882. <https://doi.org/10.3390/plants13202882>
- Fushimi, T., Oyama, S., Koizumi, R., Fujii, Y., y Osakabe, N. (2022). Impact of cyanidin 3-O-glucoside on rat micro- and systemic circulation, possibly through angiogenesis. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 72(2), 132. <https://doi.org/10.3164/jcbn.22-50>
- Gobierno de México. (2025). *Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030*. Presidencia de la República. <https://www.gob.mx/presidencia>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020: Principales resultados por localidad (ITER)*. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=326108&ag=0&f=csv>
- Instituto Nacional de Salud Pública. (2020). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018–19. Resultados nacionales*. https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_informe_final.pdf
- Kim, D. W., Han, H. A., Kim, J. K., Kim, D. H., y Kim, M. K. (2021). Comparison of phytochemicals and antioxidant activities of berries cultivated in Korea: Identification of phenolic compounds in aronia by HPLC/Q-TOF MS. *Preventive Nutrition and Food Science*, 26(4), 459–468. <https://doi.org/10.3746/pnf.2021.26.4.459>
- Kongthitlerd, P., Barras, E., Rong, W., Thibodeaux, A., Rigdon, M., Yao, S., Adisakwattana, S., Suantawee, T., y Cheng, H. (2023). Cyanidin inhibits adipogenesis in 3T3-L1 preadipocytes by activating the PLC-IP3 pathway. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 162, 114677. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114677>
- Lee, J. S., Kim, Y. R., Park, J. M., Kim, Y. E., Baek, N. I., y Hong, E. K. (2015). Cyanidin-3-glucoside isolated from mulberry fruits protects pancreatic β -cells against glucotoxicity-induced apoptosis. *Molecular Medicine Reports*, 11(4), 2723–2728. <https://doi.org/10.3892/mmr.2014.3078>
- León-Murillo, J. R., Gutiérrez-Dorado, R., Reynoso-Camacho, R., Milán-Carrillo, J., Perales-Sánchez, J. X. K., Cuevas-Rodríguez, E. O., y Reyes-Moreno, C. (2021). Tortillas preparadas con harinas extruidas de maíz azul y semillas de chía como una opción de alimento nutritivo y nutracéutico. *Agrociencia*, 55(6), 487–506. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/2555>
- Quiñones-Muñoz, T. A., Villanueva-Rodríguez, S. J., y Torruco-Uco, J. G. (2022). Nutraceutical properties of *Medicago sativa* L., *Agave* spp., *Zea mays* L. and *Avena sativa* L.: A review of metabolites and mechanisms. *Metabolites*, 12(9), 806. <https://doi.org/10.3390/metabo12090806>

- Radice, M., Scalvenzi, L., y Gutiérrez, D. (2020). Etnofarmacología, bioactividad y fitoquímica de *Maxillaria densa* Lindl. Revisión científica y biocomercio en el neotrópico. *Colombia Forestal*, 23(2), 20–33. <https://doi.org/10.14483/2256201X.15924>
- Rubio, O. E., Pérez, S. R. E., Ávila, V. T. C., Gómez, L. J. F., y García, S. P. A. (2019). Propiedades fisicoquímicas de frutos silvestres de *Rubus* con potencial nutraceutico y alimenticio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (23), 291–301. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2028>
- Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado de Puebla. (2023, 21 de marzo). Acuerdo de la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado, por el que se emiten las Reglas de Operación de los Programas para el Campo Poblano. *Periódico Oficial del Estado de Puebla*, Tomo DLXXV, Núm. 14 (Edición Vespertina). https://periodicooficial.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/T_E_V_21032023_C.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Producción mensual agrícola. Avance de siembras y cosechas*. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. (2023). *Valor de la producción nacional agropecuaria y pesquera*. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/documentos/siacon-ng-161430>
- Torres, T. F., y Rojas, M. A. (2024). Alimentos ultraprocesados y comida rápida: hacia la configuración de un patrón alimentario híbrido. *Problemas del Desarrollo*, 55(217), 3–28. <https://doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2024.217.70084>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Palos-Hernández, A., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., García-Cruz, L., Arellano-Vázquez, J. L., y Rojas-Martínez, I. (2025). Blue maize with pigmented germ: Phytochemical compounds and tortilla color. *Food Chemistry*, 463, 1411109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141109>
- Vía Campesina. (2007). *Nyeléni Declaration on Food Sovereignty*. Forum for Food Sovereignty, Sélingué, Mali. <https://nyeleni.org/IMG/pdf/DeclNyeleni-es.pdf>
- Xochipa-Morante, R. C., Rosas-Gallo, A., Xochipa-Morante, J. R., Lacayo-Romero, M. L., Carmona-Silva, J. L., Macías-López, A., y Cantellano-Rodríguez, H. (2025). Anthocyanins in local, healthy and specialty agrifood from the Sierra Nevada of Puebla. *Agro Productividad*, 18(11), 135–143. <https://doi.org/10.32854/9y46z730>
- Ye, X., Chen, W., Tu, P., Jia, R., Liu, Y., Li, Y., Tang, Q., Zheng, X., y Chu, Q. (2021). Food-derived cyanidin-3-O-glucoside alleviates oxidative stress: Evidence from the islet cell line and diabetic db/db mice. *Food & Function*, 12(22), 11599–11610. <https://doi.org/10.1039/d1fo02385c>