



La sociedad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales


COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA




RED DE MEDIO AMBIENTE
rema
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Jacinto Elías Sedeño Díaz
Diana Cecilia Escobedo Urías
Eugenia López López
María Elena Tavera Cortés
(editores)

La sociedad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

Medio ambiente y Objetivos del Desarrollo Sostenible



Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.197](https://doi.org/10.52501/cc.197)



La sociedad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

Medio ambiente y Objetivos del Desarrollo Sostenible

Jacinto Elías Sedeño Díaz
Diana Cecilia Escobedo Urías
Eugenia López López
María Elena Tavera Cortés
(editores)



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

La sociedad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales : Medio ambiente y Objetivos del Desarrollo Sostenible / Jacinto Elías Sedeño Díaz, Diana Cecilia Escobedo Urías, Eugenia López López, María Elena Tavera Cortés (editores). — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2024. (Colección Ciencia e Investigación).

260 páginas : gráficas, mapas; 23 × 16.5 centímetros

ISBN: 978-607-9104-35-1

DOI: 10.52501/cc.197

1. Análisis del impacto ambiental. 2. Desarrollo sustentable. I. Sedeño Díaz, Jacinto Elías, editor. II. Escobedo Urías, Diana Cecilia, editora. III. López López, Eugenia, editora. IV. Tavera Cortés, María Elena, editora.

LC: TD194.6 C66

Dewey: 333.714021 C66

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece a los editores D. R. © Jacinto Elías Sedeño Díaz, Diana Cecilia Escobedo Urías, Eugenia López López, María Elena Tavera Cortés, 2024. Reservados todos los derechos conforme a la ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>.

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2024

Diseño de portada: César Susano • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2024

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,

Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170

info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com

f comunicacioncientificapublicaciones **t**@ ComunidadCient2

ISBN 978-607-9104-35-1

DOI 10.52501/cc.197



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
El proceso transparentado, así como el libro, pueden consultarse en Acceso
Abierto, en <https://doi.org/10.52501/cc.197>

Índice

Presentación. La sociedad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; <i>Jacinto Elías Sedeño Díaz, Diana Cecilia Escobedo Urías, Eugenia López López, María Elena Tavera Cortés</i>	13
I. Afectaciones al sistema de captación y escorrentía de agua superficial en el municipio de Calimaya, <i>Alma Regina Dávila-Sámamo, Rocío Girón-Navarro</i>	17
Introducción	18
Materiales y métodos	19
Descripción del área de estudio	19
Geología e hidrología	20
Determinación de la calidad del componente hidráulico y las afectaciones a la captación y la calidad del agua	20
Resultados	22
Discusión	26
Conclusiones	28
Agradecimientos	29
Referencias	29

II. Espacio de aprendizaje para promover el desarrollo comunitario sostenible en Oaxaca, México, <i>Lidia Argelia Juárez-Ruiz, José Luis Caballero-Montes, Margarita Rasilla-Cano</i>		31
Introducción		32
Materiales y métodos		35
Resultados		36
A. Diagnóstico		37
B. Análisis de marcos de trabajo verdes		41
C. Ecotecnologías		41
D. Talleres		42
Discusión		43
Conclusiones		44
Referencias		45
III. La pulpa de café como parte de la economía circular en una comunidad rural oaxaqueña, <i>Mayra Atali Terán-Ramírez, Juana Yolanda López-Cruz, Gema Lugo-Espinosa</i>		47
Introducción		48
Materiales y métodos		50
Resultados		51
Procesos de transformación de la pulpa de café		52
Eficiencia energética		54
El café en la economía circular		55
Discusión		56
Conclusiones		57
Recomendaciones		58
Agradecimientos		58
Referencias		59
IV. El patrimonio biocultural de los artesanos de carrizo y las estrategias de resiliencia: caso de Santa Cruz Papalutla, Tlacolula, Oaxaca, México, <i>Juana Yolanda López-Cruz, Cynthia Cruz-Carrasco, Victoria Bautista-López</i>		61
Introducción		62

Metodología	63
Resultados	64
Aspectos socioeconómicos	64
Ingresos derivados de la actividad económica	65
Permanencia en la comunidad	65
Conocimientos tradicionales	66
Riesgo de pérdida de los conocimientos tradicionales	67
Estrategias de resiliencia ante el covid-19	68
Discusión	69
Conclusiones	70
Agradecimientos	70
Referencias	71
V. Contribución de la fertilización orgánica y mixta sobre las propiedades físicas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del frijol pinto, <i>Laura Gabriela Espinosa-Alonso, Sergio Medina-Godoy, Maribel Valdez-Morales, María Myrna Solís-Oba</i>	73
Introducción	74
Materiales y métodos	79
Compuestos fenólicos de extractos de frijol	80
Compuestos fenólicos totales por Folin-Ciocalteu	81
Compuestos fenólicos por grupos/UV	82
Capacidad antioxidante de extractos de frijol	82
Análisis estadístico	83
Resultados	83
Propiedades físicas del grano de frijol	83
Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de frijol	85
Análisis de componentes principales de frijol pinto San Rafael y pinto Libertad, bajo distintos esquemas de fertilización	88
Discusión	92
Conclusiones	98
Agradecimientos	99
Referencias	99

VI. La importancia del espacio físico en el aprendizaje: intervención educativa en una escuela telesecundaria en Ocotlán de Morelos, Oaxaca, México, <i>Mónica Soledad Rodríguez-Ruvalcaba, José Luis Caballero-Montes, Margarita Rasilla-Cano</i>	105
Introducción	106
Materiales y métodos	109
Primera sesión de la intervención educativa:	
diseño del espacio interior	113
Segunda sesión de la intervención educativa:	
diseño del espacio exterior	115
Tercera sesión de la intervención educativa:	
evaluación de las propuestas	116
Resultados	117
Discusión	123
Agradecimientos	124
Referencias	124
VII. Energía solar fotovoltaica en Potrero de la Palmita, Nayarit, México: un enfoque alternativo de desarrollo rural adoptando tecnologías energéticas no contaminantes, <i>Jaime Alejandro Guevara-Valdez, María Elena Serrano-Flores, Óscar Goiz-Amaro</i>	127
Introducción	128
Energía fotovoltaica, medio ambiente y desarrollo rural	131
Proyecto de Servicios Integrales de Energía	138
Potrero de la Palmita: comunidad indígena wixárika	140
Materiales y métodos	143
Resultados	144
Características técnicas de la granja solar de Potrero de la Palmita	144
Usos de la energía solar en Potrero de la Palmita	148
Problemáticas de la granja solar en Potrero de la Palmita	150
Discusión	151
Conclusiones	155
Agradecimientos	156
Referencias	156

VIII. Encuestas digitales para recolección de datos durante brigadas en lugares sin acceso a internet, <i>Laura Ivoone Garay-Jiménez, Bani Azarael Mejía-Flores, Blanca Alicia Rico-Jiménez, Pilar Gómez-Miranda, Guadalupe González-Díaz, Ana Belem Piña-Guzmán</i>	161
Introducción	162
Materiales y métodos	164
Consideraciones generales	165
Fases de la metodología	165
Descripción técnica del sistema de la aplicación SIGAE	170
Diseño de la aplicación de cuestionarios digitales	173
Implementación de la aplicación de cuestionarios digitales	175
Resultados	176
Discusión	178
Agradecimientos	179
Referencias	180
IX. Impacto de la pandemia en el sistema educativo mexicano: desafíos y brechas para la equidad educativa, <i>Verónica Cruz-Morales, Jaime Alejandro Guevara-Valdez, Guadalupe Benavides-Ojeda</i>	183
Introducción	184
Brecha digital y desigualdad como impactos develados por la pandemia	187
Materiales y métodos	191
Resultados	193
Discusión	202
Conclusiones	203
Agradecimientos	205
Referencias	206
X. Incidencia del turismo regenerativo especializado en el medio ambiente y en la mitigación de peligros naturales, <i>Fernando Mohedano-López, Araceli Loyola-Espinosa</i>	209
Introducción	210

Materiales y métodos	211
Resultados	215
Análisis de datos	215
Monitoreo poblacional del cangrejo Mazunte <i>Cardisoma</i> <i>crassum</i> en la localidad de Mazunte, Santa María Tonameca, Oaxaca	223
Fotogrametría: generación de ortomosaicos	223
Procesamiento y análisis espacial de los datos con SIG . . .	224
Metodología de muestreo indirecto aleatorio	225
Fase de campo	225
Monitoreo de temporada reproductiva	228
Discusión	229
Referencias	231
 Sobre los autores.	 233

Presentación

La sociedad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

En noviembre de 2023, el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Red de Medio Ambiente, organizó el Quinto Congreso Internacional de Medio Ambiente (5° CIMA-IPN), cuyo lema fue “Nuestro planeta, nuestro futuro”, en el cual se resaltó la resiliencia de un sistema social y/o ecológico como el proceso para absorber las perturbaciones, mantener su estructura básica y sus funciones, además de la autoorganización para absorber el estrés, así como su adaptación a un entorno cambiante. En este congreso se debatieron temas sobre los problemas relacionados con nuestro planeta y lo que la generación actual vivirá en un futuro próximo. En el libro que el lector tiene en sus manos se presenta un compendio de trabajos presentados en el 5° CIMA-IPN que abordan temas sobre los ejes temáticos de esta conferencia.

Como primer tema, Dávila-Sámano y colaboradora abordan la importancia del análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua proveniente del Parque Nacional Nevado de Toluca (Cuenca Lerma-Toluca), con flujo en dirección al municipio de Calimaya, Estado de México. Los resultados mostraron que el agua procedente de la cuenca de Calimaya tiene buena calidad hídrica. No obstante, la calidad del agua y la captación de la misma podrían verse afectadas por la transformación del medio ambiente en el municipio de Calimaya. Entre las principales causas de esa afectación a la calidad del agua destacan inundaciones, deslaves, saturación de los cauces de desvío y conducción de agua superficial, así como el contacto del agua

superficial y subterránea con residuos líquidos, lo que propicia daños a la salud de las poblaciones aledañas.

En un segundo bloque de esta obra se presentan investigaciones sobre nuestra sociedad, nuestra economía circular y nuestro desarrollo sostenible, donde se discuten trabajos que abordan la importancia de los estudios de caso para presentar propuestas que incidan de manera positiva en el desarrollo sostenible bajo la estrategia de economía circular en la sociedad mexicana. López Cruz y colaboradores analizan la resiliencia cultural en la producción artesanal del carrizo en Santa Cruz Papalutla, Tlacolula, Oaxaca, la cual les ha permitido enfrentar adversidades como el hambre, la urbanización, la migración y los problemas derivados de la pandemia de covid-19 mediante el arraigo en su entorno medioambiental. Este estudio se basó en la observación no participativa y en entrevistas semiestructuradas. Los resultados mostraron un fortalecimiento del comercio local y de la unión familiar, lo que permitió desarrollar estrategias de resiliencia ante la pandemia por medio de la reproducción social, a través de la transferencia del conocimiento ancestral a las nuevas generaciones.

Por su parte, Terán-Ramírez y colaboradores abordan la problemática de la industria cafetalera en una comunidad rural del estado de Oaxaca, como generadora de una gran cantidad de residuos de alto impacto al medio ambiente por efecto de su descomposición; sin embargo, algunos estudios demuestran que los residuos del café tienen una alta cantidad de componentes útiles en diversas industrias, por lo que es apta para ingresar a la economía circular. Los resultados de la investigación mostraron algunas alternativas de aprovechamiento como tisanas para elaborar bebidas, harinas, mermeladas, sustrato para el cultivo de hongos, alimento para ganado, además de que se están implementando formas de reducir las aguas y las mieles mediante sistemas de tratamiento, los cuales se aprovechan para producir biofertilizantes.

Espinosa-Alonso y colaboradores analizaron la importancia de la fertilización en la producción alimentaria, en términos de valor tanto nutricional como ambiental sobre las propiedades físicas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del frijol pinto. Entre sus resultados obtuvieron que los tratamientos de fertilización no afectaron el color de las semillas, pero sí impactaron considerablemente en la calidad nutracéutica y en el tamaño

del grano de frijol de manera diferencial en función de la variedad. Lo anterior favoreció la calidad nutracéutica con fertilización orgánica, pero con granos más pequeños. El estudio concluye que la fertilización mixta equilibra calidad y tamaño, que la fertilización mineral resulta en granos más grandes, con menor calidad nutracéutica en pinto San Rafael, y que la fertilización mineral mejora la calidad nutracéutica, mientras que la orgánica ofrece un equilibrio entre calidad y tamaño, siendo la opción preferida para pinto Libertad.

Juárez Ruiz y colaboradores, en su trabajo denominado “Espacio de aprendizaje para promover el desarrollo comunitario sostenible en Oaxaca, México”, desarrollaron su investigación en las zonas rurales y suburbanas de Oaxaca, donde existen problemáticas sociales relacionadas con la calidad de vida en comunidades marginadas en las que los recursos naturales son subutilizados, ya que carecen de las oportunidades de desarrollo de tecnologías para el mejoramiento de viviendas y servicios básicos, por lo que los espacios de aprendizaje son el instrumento para la adquisición de conocimientos. Como resultado de su investigación ofrecen una propuesta demostrativa sobre la utilización de ecotecnias y la transferencia de conocimiento por medio de talleres.

En términos del desarrollo comunitario sostenible, Rodríguez-Ruvalcaba y colaboradores hacen propuestas al diseño de la escuela telesecundaria de Ocotlán de Morelos, Oaxaca, mediante la identificación de factores físicos de los espacios educativos que influyen en el aprendizaje. La intervención educativa se realizó con la metodología 4MAT. Los resultados mostraron que, mediante estrategias de sensibilización y comprensión de conceptos que relacionan el espacio físico con el aprendizaje, los estudiantes pueden aportar propuestas plasmadas en una maqueta y en plantas arquitectónicas, contribuyendo al diseño de sus espacios educativos y generando la apropiación del proyecto arquitectónico desde su fase inicial.

En términos del aprovechamiento de energías alternas, Guevara-Valdez y colaboradores evaluaron el uso de la energía solar fotovoltaica en Potrero de la Palmita, Estado de México, identificando limitaciones y oportunidades de la tecnología a través de entrevistas a una muestra de la población y a líderes clave de la comunidad. Los resultados mostraron una alta aceptación del servicio eléctrico para iluminación, pero el costo y las fallas técnicas limitan la satisfacción de otras necesidades tanto domésticas como

productivas y de actividades económicas. Por lo tanto, los autores proponen un enfoque de desarrollo rural alternativo que tenga en cuenta necesidades y percepciones de las comunidades rurales para abordar de manera más efectiva los desafíos del desarrollo rural.

Garay-Jiménez y colaboradores presentan una alternativa a la recopilación de información a través de encuestas digitales en comunidades rurales aisladas de México, donde es difícil hacer el levantamiento de información debido a la falta de internet. Se desarrolló un sistema de cómputo móvil disponible sin acceso a internet. El sistema proporciona un cuestionario digital para la recolecta y el almacenamiento de información. Al finalizar el levantamiento de la encuesta, la aplicación móvil actualiza su base de datos local. Posteriormente, cuando los encuestadores tienen acceso a internet, actualizan la información de la base de datos global del servidor y, finalmente, los investigadores descargan el archivo con el informe global para su análisis sin internet.

Finalmente, Mohedano-López y Loyola Espinosa abordan el tema del turismo regenerativo especializado, utilizando como casos de estudio la laguna de Tecocomulco en el estado de Hidalgo (un sitio de importancia internacional Ramsar) y la comunidad del pueblo mágico de Mazunte en el estado de Oaxaca. En ambos casos, la aplicación del turismo regenerativo que involucra tanto a las comunidades como a los turistas está ayudado a mitigar eventos que la naturaleza genera: proliferación de malezas, huracanes, tornados, tsunamis, etc., integrando a la comunidad a los turistas que la visitan, como una sociedad altamente motivada a contribuir a las mejoras del medio natural.

JACINTO ELÍAS SEDENO DÍAZ
DIANA CECILIA ESCOBEDO URÍAS
EUGENIA LÓPEZ LÓPEZ
MARÍA ELENA TAVERA CORTÉS

I. Afectaciones al sistema de captación y escorrentía de agua superficial en el municipio de Calimaya

ALMA REGINA DÁVILA-SÁMANO*

ROCÍO GIRÓN-NAVARRO**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.01>

Resumen

El objetivo del presente estudio es analizar los parámetros fisicoquímicos del agua proveniente del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), que comprende la Cuenca Lerma-Toluca con flujo en dirección al municipio de Calimaya, Estado de México, de febrero a abril de 2022. La cercanía del municipio con el PNNT fue lo que propició el análisis de las afectaciones en la captación y la calidad del agua, en relación con las actividades antropogénicas que propician el deterioro de los ecosistemas y la salud de los habitantes. Algunos autores han estudiado la calidad del agua, así como las estrategias sustentables para disminuir los impactos ambientales del PNNT; sin embargo, no existe un trabajo sobre las cuencas hidrológicas, caso específico de Calimaya.

Con los resultados obtenidos se confirma que el agua procedente de la cuenca de Calimaya tiene buena calidad hídrica, porque cumple con los límites permisibles de contaminantes y calidad del agua señalados en la NOM-001-Semarnat-2021 y en la NOM-127-SSA1-2021. No obstante, la calidad del agua y la captación de la misma podría verse afectada por la transformación del medio ambiente en el municipio de Calimaya. Entre las principales afectaciones relacionadas con los recursos hídricos se encuentran:

* Doctora en Derecho, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4154-9078> ; Autora de correspondencia: ardavilas@uaemex.com

** Doctora en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4452-3802>

inundaciones, deslaves, saturación de los cauces de desvío y conducción de agua superficial que afecta la calidad del agua, lo que propicia daños a la salud de las poblaciones aledañas. También, por el contacto del agua superficial y subterránea con residuos líquidos, existe contaminación de suelos y aguas provenientes de los sitios no controlados o a cielo abierto.

Palabras clave: *impacto ambiental, calidad del agua, captación hídrica, cuenca hidrológica Lerma, Estado de México.*

Introducción

El recurso hídrico ha sido motor y precursor de los asentamientos humanos, tanto por su consumo, como por sus beneficios en las diferentes actividades antropogénicas. El presente trabajo analiza un municipio modificado por la escorrentía y la captación del agua, considerado como un punto estratégico que puede transformar el medio ambiente cercano al Nevado de Toluca (figura 1).

Figura 1. *Parque Nacional Nevado de Toluca*



Investigaciones previas han estudiado los recursos hídricos del Nevado de Toluca, enfocadas en la determinación de la producción de agua superficial en el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), como Rojas-Merced

Eric (2007), sin embargo, faltan estudios vigentes no sólo del volcán, sino también de los municipios aledaños al parque.

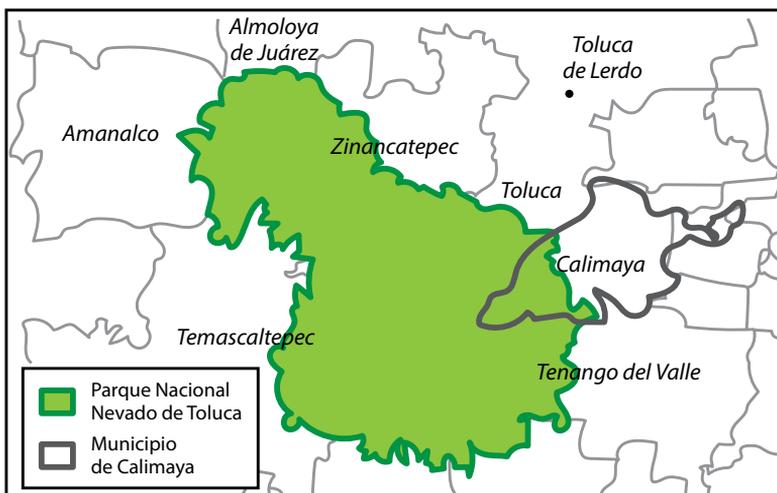
Los objetivos principales del presente trabajo son determinar la calidad del componente hidráulico, considerando algunos parámetros fisicoquímicos del agua, y señalar las afectaciones a los sistemas de captación superficiales en el municipio de Calimaya, Estado de México.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El municipio seleccionado es Calimaya, el cual tiene su origen alrededor del año 800 de nuestra era. Se ubica geográficamente en los paralelos $99^{\circ} 37' 10''$ y $99^{\circ} 44' 02''$ de longitud oeste y $19^{\circ} 07' 02''$ y $19^{\circ} 13' 25''$ de latitud norte (IGECEM, 2022). El territorio ocupa un amplio plano inclinado en cuya parte oeste se encuentra la zona más alta, a 4 578 metros sobre el nivel del mar (msnm), que baja hasta el terreno plano de la parte oriental, a una altura de 2 600 msnm. La cabecera municipal tiene una altitud media de 2 680 msnm. Su terreno ocupa una extensión de 104.24 km^2 (Calimaya, 2022) y se localiza al sur de Toluca (figura 2).

Figura 2. Parque Nacional Nevado de Toluca y municipio de Calimaya, Estado de México



La precipitación pluvial anual es de 800 a 900 mm (RAMA, 2022). El período de lluvias abarca los meses de junio a septiembre de cada año y el mes que registra el mayor volumen de precipitación es julio, con 190 mm.

Geología e hidrología

En el municipio de Calimaya existen rocas ígneas extrusivas volcanoclásticas (64.6%), rocas andesitas (4.8%), brechas sedimentarias (6.5%), suelo de material aluvial (18%) y suelo de origen lacustre (0.04%) (Plan de Desarrollo Municipal de Calimaya, 2022). Los suelos con mayor presencia son los andosoles, los phaeozems y los vertisoles, los cuales son ricos en materia orgánica y nutrientes, de texturas fina y media. La diversidad de suelos en el municipio depende de las condiciones geomorfológicas, hidrológicas y climáticas (INEGI, 2021). Cerca de los mantos freáticos se encuentran los suelos aluviones, caracterizados por contener gravas, lodo, arena y arcilla, y por ser muy productivos, ya que permiten el riego y la agricultura.

Ente los recursos hídricos superficiales encontramos en el municipio los arroyos Ojo de Agua, Las Cruces, Los Temascales y Las Peñitas, y también ríos como el Jaral y el Arenal, los cuales incrementan su caudal en la época de lluvias. No obstante, existen pocos cuerpos de agua superficiales intermitentes que suelen mantenerse secos casi todo el año, incrementando su caudal con las lluvias. En la parte oriente del municipio existe una zona inundable, la cual es importante para la recarga de la cuenca del río Lerma. Las principales fuentes de agua potable para la población son los escurrimientos provenientes del volcán Xinantécatl y los pozos profundos en los que se extrae agua subterránea (CAEM, OPDAPAS, 2020).

Determinación de la calidad del componente hidráulico y las afectaciones a la captación y la calidad del agua

La conectividad hidrológica es el transporte de materia, energía y organismos a través del agua entre elementos del ciclo hidrológico (Lu y Et, 2020).

De las 25 microcuencas que componen el PNNT, nueve vierten su flujo en dirección al municipio de Calimaya, denominada Región Hidrológica 12 Cuenca Lerma-Toluca (Rojas, 2007).

Se buscó un municipio que se modificara por la escorrentía o la captación de agua cercano al Nevado de Toluca. Una vez identificado el municipio, en este caso Calimaya, se determinó a qué distancia se encuentra del volcán para saber los puntos estratégicos de las escorrentías naturales que pueden transformar el medio ambiente y el territorio municipal.

A partir de los parámetros fisicoquímicos realizados en laboratorio de agua, se determinaron las afectaciones presentes en la cuenca hídrica de Calimaya. Las mediciones se obtuvieron con el equipo de calidad de agua (Water Checker Modelo U-10), calibrado en el laboratorio de la UNAM. Los resultados de las muestras acuosas procedentes de la zona de estudio se señalan en la tabla 1 y corresponden a los parámetros físico-químicos, de acuerdo con la NOM-127 y NOM-001. Los valores son el promedio de dos muestras realizadas en el periodo que comprende de febrero a abril de 2022, las cuales atienden la reproducibilidad de la metodología utilizada.

La estación del año en que se realizó el muestreo fue la temporada de estiaje, en una sola ocasión, y los meses de estudio indicaron poca precipitación. Esto ayudó a determinar los impactos que se tienen por la captación de agua de los sistemas naturales y a identificar los parámetros que modifican la calidad hidrológica del agua, y sus posibles afectaciones.

Derivado de que la zona de estudio se evalúa desde su nacimiento, es posible y congruente evaluar la calidad del agua de la cuenca hidrológica con un solo muestreo puntual, en una sola estación del año, porque es un estudio inicial que sienta un precedente para investigaciones futuras en diferentes estaciones del año que resulten de la ubicación y el trayecto de las microcuencas hacia las zonas mineras y hacia las comunidades.

Teniendo como referencia los resultados de los estudios previos realizados en la zona y consistentes con el área de interés, la evolución de la población en los años en que la Sierra Nevada lindaba con el arroyo y las tierras del pueblo de Calimaya (García Martínez, 2016) ha presentado un aumento natural, situación que va en constante cambio y crecimiento. El municipio de Calimaya ha presentado un crecimiento poblacional y urbano

significativo. El número de habitantes en Calimaya es de 68 489 habitantes (INEGI, 2020).

Resultados

Con los estudios y las mediciones realizadas en campo fue posible caracterizar las muestras de la subcuenca de Calimaya para evaluar los parámetros fisicoquímicos relacionados con la calidad del agua. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. *Parámetros fisicoquímicos del agua de la cuenca en Calimaya (2 de febrero a 4 de abril de 2022)*

Parámetro	Cuenca Calimaya	Unidades	NOM-127-SSA1-2021	NOM-001-Semarnat-2021
Alcalinidad	50.99	mg/L CaCO ₃	500	—
Cloruros	18.40	mg/L Cl ⁻	250	—
Color	1	Pt/Co	20	—
Demanda bioquímica de oxígeno	4.55	mg/L O ₂	N.A.	N.A.
Demanda química de oxígeno	8.15	mg/L O ₂	N.A.	150
Flúor	0.15	mg/L F ⁻	1.50	—
Nitratos	5.19	mg/L N-NO ₃ ⁻	10.0	—
pH	7.0		6.5-8.5	6.9
Turbidez	0.21	UTN	5	—
Coliformes totales	11	UFC/100 mL	N.A.	250
Cadmio	0.007	mg/L	0.003	—
Mercurio	0.003	mg/L	0.006	—
Plomo	0.025	mg/L	0.01	—
Cromo hexavalente	0.03	mg/L	0.05	—
Cromo total	0.03	mg/L	0.05	—

De acuerdo con la tabla 1, el agua procedente de la Región Hidrológica Cuenca Lerma-Toluca, en dirección al municipio de Calimaya, cumple con los límites permisibles de calidad para uso y consumo humano señalados en la NOM-127 SSA1-2021, y con los límites permisibles de DQO, pH y coliformes, señalados en la NOM-001-Semarnat-2021, en las descargas de aguas residuales.

La caracterización de las soluciones mostró que existe una baja alcalinidad. Un valor adecuado debe estar entre 80 y 120 ppm para neutralizar bien los ácidos y que el pH sea estable (efecto tampón o buffer). La presencia de cloruros en el agua de la cuenca es normal y necesaria; se encuentran en concentraciones pequeñas, por lo que no representan un foco rojo para promover el crecimiento no controlado de plantas y tampoco para afectar la calidad del suelo.

Por otro lado, la concentración de color es muy pequeña (1 Pt/Co), lo que significa que no existe presencia de contaminantes orgánicos, metales o microorganismos en la cuenca. El flúor y los nitratos se encuentran de forma natural en el agua, por lo que las concentraciones cuantificadas en la cuenca están dentro de los límites permisibles. Se debe tener cuidado de no rebasar la cantidad de flúor presente en el agua, ya que eso representaría un problema de salud pública. En el caso de los nitratos, un exceso podría conducir a la eutrofización del cuerpo de agua.

El pH también es un parámetro fisicoquímico que se halla dentro de los límites permisibles, otorgando un medio neutro a la cuenca e indicando que no existen compuestos orgánicos u inorgánicos que le otorguen un pH ácido o básico. El valor de 0.21 UTN indica la presencia de partículas suspendidas y disueltas, pero en bajas concentraciones. La turbidez medida indica que el agua de la microcuenca de Calimaya no está sucia.

Los análisis obtenidos de 8.15 mg/L O₂ para DQO revelan una concentración por debajo de los límites permisibles para aguas residuales, lo que indica que hay poca presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos fáciles de ser oxidados. Aunado a la medida del color, el parámetro de coliformes totales confirma que existe una baja presencia de microorganismos en la cuenca, lo cual implica una baja contaminación por la presencia de bacterias (11 UFC/100 mL).

Los resultados obtenidos con las regulaciones nacionales se compararon con los límites permisibles internacionales establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. Para los límites permisibles de cloruros, color, nitratos, pH y turbidez, la EPA tiene valores similares a los de la NOM-127. Una diferencia notable ocurre con el parámetro de alcalinidad, pues la EPA reporta un límite de 100 mg/L, una quinta parte

de lo solicitado por la NOM-127. Otra diferencia, son los límites de DBO_5 y DQO ; la EPA reporta 50 y 250 mg/L, respectivamente. Para comparar los límites de coliformes, se utilizó el valor reportado por la Organización Mundial de la Salud (OMS): 0 unidades formadoras de colonias en 100 ml. Considerando este valor, el agua de la zona en estudio, debería recibir algún tratamiento para reducir la cantidad de bacterias presentes en el agua.

Respecto de los metales pesados que se incluyeron en los análisis del agua se ocupa la NOM-127 SSA1-2021 como referencia, porque el estudio es de agua de manantiales que sirve de recarga para los pozos de consumo humano; los resultados obtenidos para los muestreos en microcuenca presenta niveles por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) señalados en la norma, lo que indica que no hay evidencia de contaminación por estos compuestos en los yacimientos; sin embargo, es motivo del análisis continuo de estos contaminantes con investigaciones futuras para obtener un comparativo de las condiciones del agua desde su nacimiento y posteriores a los posibles puntos de generación de estos contaminantes (minas, descargas de aguas residuales no contaminadas, tiraderos a cielo abierto, entre otros).

Respecto de la microcuenca que contribuye a la aportación del agua al municipio está la denominada Las Cruces-Zacango, la cual presenta un flujo de $0.0243 \text{ m}^3/\text{seg}$. En cuanto a su calidad, se identificó la presencia de coliformes fecales $220 \text{ NMP}/\text{cm}^3$; sin embargo, los demás parámetros la clasifican como de muy buena calidad.

Como área de oportunidad, se deben realizar estudios de geohidrología y piezometría en la zona de estudio para evaluar el funcionamiento del agua subterránea e identificar las zonas de recarga en la parte oriente del municipio, donde se han detectado escurrimientos de origen pluvial que abastecen la cuenca del río Lerma. Con estos estudios también se podrá determinar el tipo de suelo, el volumen de agua captado en la cuenca y el comportamiento hidrológico superficial y subterráneo. Se recomienda realizar un inventario de las aguas subterráneas y superficiales cerca de la zona de estudio y monitorear la calidad del agua para visualizar el impacto a los recursos hídricos por las actividades antropogénicas.

Debido a la cercanía con otras ciudades y municipios aledaños a la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), los factores que influyen en el

deterioro ambiental del PNNT son los cambios de uso de suelo de forestal a ganadero, agrícola, minero y urbano, así como la dinámica de crecimiento poblacional del municipio.

La ubicación geográfica del municipio es un factor asociado con los procesos de cambio, principalmente de ocupación de uso del suelo, uso forestal y agrícola a uso urbano y para extracción de recursos pétreos. Los cambios en el municipio suelen presentarse con mayor rapidez en comparación con las acciones del desarrollo urbano sustentable.

Las modificaciones en la conectividad y en la eficiencia hidrológica que se presentan están relacionadas con los cambios en la cobertura/uso del suelo. Han desaparecido extensiones de bosque para dar paso a cultivos, disminuido especies de fauna y flora, y desaparecido y mermado manantiales.

Con este incremento y cambio en las necesidades de servicios e infraestructura municipal, los gobiernos deben implementar acciones ambientales eficientes, pues se está presentando un cambio en los sistemas naturales de captación de agua y escorrentías naturales, modificando así el caudal y la calidad del líquido vital. Es importante realizar una evaluación probabilística e investigar las consecuencias del problema para mitigar impactos en las cuencas hidrológicas en beneficio de la población.

La ubicación geográfica del municipio vista con enfoque estratégico para proyectos metropolitanos del valle de Toluca de nivel regional presenta una incorporación en los mercados del suelo urbano. La transformación del medio ambiente se presenta principalmente en el territorio municipal; sin embargo, en relación con aquellas actividades que propician la afectación de la captación y la calidad del agua destacan las zonas ocupadas por las nuevas construcciones habitacionales en las que se desarrolla la explotación de materiales pétreos; afectación que da origen a la presencia de oquedades y socavones de grandes proporciones, que además de modificar el paisaje constituyen perjuicios a los ecosistemas, el clima, la vegetación y la calidad del agua, lo que determina la integridad ecológica de los ríos. Dichas modificaciones coinciden con las reportadas en un estudio hidrológico (Plan de Desarrollo Municipal de Calimaya, 2022), el cual menciona que la escasez del agua en los ríos es normal durante todo el año, excepto en la temporada de lluvias, cuando incrementa el caudal y el riesgo a la población al descender por la pendiente natural del volcán Xinantécatl.

Los riesgos asociados van desde la emisión excesiva de gases de combustión de polvos y partículas provenientes de las actividades desarrolladas con maquinaria pesada y tránsito de vehículos pesados, hasta la generación de sitios no controlados de disposición final de residuos, que a su vez generan proliferación de fauna nociva y olores, llegando a modificar el curso completo de canales y mecanismos naturales de conducción de agua captada en las partes altas del municipio, además del inminente contacto con fuentes de contaminantes. Éstos son problemas medioambientales que provocan una afectación directa a la salud de la población.

Al desarrollo de estas actividades de alto impacto se suma, la carencia de una infraestructura municipal que permita el tratamiento eficiente de las aguas residuales generadas. Sólo se tiene una planta de tratamiento que opera y vierte el afluente sin tratamiento directo sobre el suelo, empleando un sistema de canales para su dispersión e infiltración al subsuelo, lo cual tiene como consecuencia la alteración de la calidad del agua resultante.

Discusión

El desvío de los cauces de ríos y barrancas naturales, de donde proviene el agua de la microcuenca Las Cruces-Zacango, perteneciente a la región hidrológica cuenca Lerma-Toluca, provoca afectaciones a los sistemas de captación y calidad del agua derivadas de las actividades antropogénicas desarrolladas en el municipio de Calimaya, Estado de México. La cuenca del arroyo La Ciénega se ha formado sobre depósitos volcánicos acumulados sobre la ladera este del volcán Nevado de Toluca. De acuerdo con una investigación, se han cuantificado las acciones fluviales para conocer la profundidad alcanzada por las corrientes y los posibles impactos generados (Aceves *et al.*, 2014), datos que pueden ser motivo de estudios subsecuentes para identificar las posibles anomalías geológicas locales que afectan la zona.

La eliminación de la cubierta vegetal en las zonas donde se realizan actividades de extracción de materiales pétreos y en las zonas habitacionales, propicia la erosión del suelo en la región, que, principalmente en los meses de febrero y marzo, origina tolvaneras. Por otra parte, compactación de los suelos o la sustitución por carpeta asfáltica de los suelos porosos o

permeables disminuyen la infiltración de agua de recarga al acuífero subyacente. La influencia de las condiciones espaciales y locales, la ubicación del territorio, factores ambientales y parámetros físico-químicos pueden arrojar diferentes resultados para cuantificar las respuestas de la calidad hidrológica (Granados *et al.*, 2020).

La presente investigación está enfocada en el nacimiento o la parte alta de la zona de estudio. Los resultados de los metales y los metales pesados que se incluyeron en los análisis del agua, obtenidos de los muestreos, presenta niveles por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) señalados en la norma, lo que indica que no hay evidencia de contaminación provocada por estos compuestos en los yacimientos; sin embargo, es el precedente de futuros estudios para evaluar e identificar las posibles fuentes de contaminación por impactos relacionados con los asentamientos humanos y las actividades mineras desarrolladas en regiones aledañas al PNNT.

En el Estado de México se requiere un estudio especializado sobre las cuencas colindantes al Nevado de Toluca para identificar los factores, los parámetros y los climas que afectan las características hidrológicas y proponer acciones de mitigación (Alonso *et al.*, 2020).

La inundación y los deslaves en la zona de estudio se presentan por los socavones generados como parte de la actividad de explotación de materiales pétreos y por la saturación de los cauces de desvío y conducción de agua superficial, que generan posibles riesgos en la calidad del agua (Fikadu, 2022) y daños a la salud de las poblaciones aledañas (Semjen, 2020). Aunado a lo anterior, se presentan probables afectaciones debido al contacto del agua superficial y subterránea con residuos líquidos y lixiviados (Ali y Ahmad, 2020), provenientes de sitios no controlados o a cielo abierto (Aryampa *et al.*, 2021). Uno de estos sitios está ubicado aproximadamente a 250 metros de los límites de la cabecera municipal y de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales.

En resumen, la presencia de sitios no controlados para la disposición final de los residuos y la carencia de una infraestructura municipal que permita el tratamiento eficiente de las aguas residuales, impactan en la calidad del agua superficial y subterránea. También, el tipo de suelo geológico suele considerarse para ponderar el impacto a la calidad hídrica.

En Calimaya, específicamente en el Parque Nacional Nevado de Toluca, el suelo que predomina es el andosol, el cual posee una gran capacidad de amortiguar el riesgo de contaminación del agua subterránea, pero no del agua superficial.

Conclusiones

La calidad del componente hidráulico y las afectaciones del sistema de captación y escorrentía de agua en el municipio de Calimaya, Estado de México, son temas estratégicos importantes para evaluar los impactos en los sistemas naturales de agua que transforman el medio ambiente o el territorio municipal.

En la actualidad existen pocas investigaciones que aborden temas y datos sobre los caudales que provienen del Nevado de Toluca. El presente estudio aporta información vigente sobre los análisis y las afectaciones de las zonas cercanas al Nevado de Toluca, específicamente del municipio Calimaya, con el propósito de que la literatura aumente y sea un antecedente para futuras investigaciones que aborden otras zonas hidrológicas correspondientes a los municipios aledaños al Valle de Toluca.

Algunas recomendaciones para disminuir las afectaciones a los sistemas de captación y a la calidad del agua en el municipio de Calimaya, Estado de México, son: realizar aportaciones de calidad del agua continuamente, regular la actividad minera y el crecimiento de los asentamientos humanos y planear el crecimiento municipal tomando en cuenta las afectaciones al medio ambiente.

El cumplimiento del Plan de Desarrollo Urbano Municipal, así como el análisis que realizan las autoridades municipales, son estrategias en beneficio de la calidad del agua de la cuenca, debido a que los mayores impactos se derivan de las actividades industriales desarrolladas en los alrededores del área de estudio. La sobreexplotación de los suelos por parte de la industria minera, además de modificar la estructura geológica natural origina el desvío de los cauces de agua natural, así como los asentamientos humanos cada vez más presentes en las zonas aledañas al área de estudio, por lo que la delimitación que se haga en los planes de desarrollo urbano contribuirá

al beneficio de la cuenca hídrica. El uso y la incorporación de alternativas para el control de la erosión y de la deforestación, la construcción de presas de piedra acomodada, el empleo de especies de cultivo para un mayor rendimiento hídrico, la instalación de barreras contra viento, entre otros, evitan o retrasan los impactos ambientales en la zona de estudio.

Agradecimientos

Alma Regina Dávila Sámano agradece la beca CONAHCYT con CVU 1081590, y Rocío Girón-Navarro, la beca CONACYT-CVU 863657 (México).

Referencias

- Aceves, F., Legorreta, G., y Álvarez, Y. (2014). Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del volcán Nevado de Toluca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 329-342. <https://doi.org/10.18268/BSGM2014v66n2a8>.
- Ali, S. A., y Ahmad, A. (2020). Suitability Analysis for Municipal Landfill Site Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Geospatial Technique. *Environmental Earth Sciences*, 79. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08970-z>
- Alonso, H., Diakite, L., y Rufino, J. (2020). Impacto del cambio de cobertura vegetal y del clima en la erosión del Nevado de Toluca. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(3), 342-370. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-03-10>.
- Aryampa, S., Maheshwari, B., Sabiiti, E. N., y Zamorano, M. (2021). A Framework for Assessing the Ecological Sustainability of Waste Disposal Sites (EcoSWaD). *Waste Management*, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.044>.
- Calimaya (2022). *Bando Municipal Calimaya*.
- Fikadu, G. (2022, agosto). Determination of Selected Physicochemical Water Quality Parameters of the Upper Stream of Amerti Watershed of Western Ethiopia. *Environmental Challenges*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100558>.
- García Martínez, B. (2016). El extraño caso de la “u” invertida: o sea, el de la enmarañada toponimia del Nevado de Toluca. *Contribuciones desde Coatepec*, (30), 17-34. <https://revistacoatepec.uaemex.mx/article/view/13333>.
- Granados, V. Gutiérrez-Cánovas, C., Arias-Real, R., Obrador, B., Harjung, A., y Butturini, A. (2020). The Interruption of Longitudinal Hydrological Connectivity Causes Delayed Responses in Dissolved Organic Matter. *Science of the Total Environment*, 713. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136619>.
- Lu, M., Xu, Y., Liu, P., y Lin, Zh. (2020). Measuring the Hydrological Longitudinal Con-

- nectivity and its Spatial Response on Urbanization in Delta Plains. *Ecological Indicators*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106845>.
- Semjen, C. R. (2020, agosto). Contaminación atmosférica y medioambiental y patología respiratoria. *EMC. Tratado de Medicina*, 24(3), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S1636-5410\(20\)44024-3](https://doi.org/10.1016/S1636-5410(20)44024-3).

II. Espacio de aprendizaje para promover el desarrollo comunitario sostenible en Oaxaca, México

LIDIA ARGELIA JUÁREZ-RUIZ*

JOSÉ LUIS CABALLERO-MONTES**

MARGARITA RASILLA-CANO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.02>

Resumen

En zonas rurales y suburbanas de Oaxaca existen problemáticas sociales relacionadas con la calidad de vida en comunidades marginadas. Los recursos naturales son subutilizados por comunidades que adolecen de oportunidades de desarrollo y en las que es importante promover el acceso a tecnologías adecuadas para el mejoramiento de viviendas y servicios básicos. Los espacios de aprendizaje constituyen un medio para adquirir conocimientos y fortalecer habilidades tecnológicas que favorezcan el desarrollo comunitario sostenible. Con este objetivo se propuso un Laboratorio de Ecotecnologías en el CIIDIR-Oaxaca del IPN, como espacio de aprendizaje continuo, para que estudiantes de posgrado adquieran competencias en beneficio de grupos sociales con una manifiesta desventaja en el acceso a tecnología aplicando metodologías participativas y de construcción verde. Los resultados fueron los siguientes: la adecuación de un espacio que funciona como área demostrativa y de experimentación de ecotecnias, el diseño de talleres

* Doctora en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Naturales. Profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6180-3251> ; Autora de correspondencia: ljuarezr@ipn.mx

** Maestro en Administración de la Construcción y profesor-investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3634-2080>

*** Maestra en Educación Media Superior y Universitaria y profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8873-5471>

cuyo propósito es que los estudiantes construyan aprendizajes y fortalezcan habilidades en el tema de las ecotecnologías, fomentándoles valores en relación con el problema ambiental. Otro resultado fue el diseño de un proceso metodológico y la definición de criterios aplicados para la implementación de ecotecnologías en comunidades rurales y marginadas de Oaxaca. Los espacios de aprendizaje, como estrategia del proceso de enseñanza-aprendizaje a nivel superior, apoyan la formación de talento humano para transferir tecnología a sectores sociales marginados en un contexto de inclusión social y promoción de saberes tecnológicos. La participación de instituciones educativas y organizaciones sociales es factor clave para un desarrollo comunitario sostenible, inclusivo y congruente con las necesidades sociales.

Palabras clave: *saberes tradicionales, competencias profesionales, aprendizaje incluyente, ecotecnias.*

Introducción

La ONU (2000) menciona que:

la parte fundamental para garantizar el mejoramiento de la calidad de vida es el desarrollo social. El desarrollo social implica una evolución o cambio positivo en las relaciones de individuos, grupos e instituciones en una sociedad. Ha sido uno de los pilares de las Naciones Unidas desde su fundación y está estrechamente vinculado con el desarrollo económico.

Ochoa León (2006) define el desarrollo social como un “proceso que, en el transcurso del tiempo, conduce al mejoramiento de las condiciones de vida de toda la población en diferentes ámbitos: salud, educación, nutrición, vivienda, vulnerabilidad, seguridad social, empleo, salarios, principalmente”. Esto tiene que ver con la reducción de la pobreza y la desigualdad en ingresos, que, aplicado a las comunidades, se traduce en desarrollo social comunitario.

En Oaxaca existen zonas rurales y suburbanas que adolecen de oportunidades de desarrollo, dadas las problemáticas sociales relacionadas con la calidad de vida de las comunidades marginadas, por lo cual, diagnósticos

previos de investigaciones realizadas por la línea de trabajo de Diseño y Tecnologías Sustentables para la Edificación (DTSE), del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), han determinado que es importante promover el acceso a tecnologías adecuadas para el mejoramiento de viviendas y servicios básicos, como parte de un desarrollo comunitario solidario y sostenible.

El desarrollo solidario se aborda desde la perspectiva de la inclusión, con estrategias participativas que permiten la apropiación y el empoderamiento de los actores sociales, dando reconocimiento a prácticas y saberes locales, así como al manejo sustentable de sus recursos naturales, constituyendo así una estrategia para la sostenibilidad. Por otra parte, J. E. Martínez (2007) comenta que “el surgimiento del enfoque de sustentabilidad a nivel local, parte del interés de articular y establecer estrategias de bienestar social, ecológico y económico de las comunidades que tienen contacto directo con sus recursos”.

Desde el quehacer académico de una institución pública de educación superior, como el CIIDIR-Oaxaca del IPN, se ha visto que los espacios de aprendizaje constituyen un medio esencial para la construcción de aprendizajes, la adquisición de conocimientos, el fortalecimiento de habilidades que influyen en el comportamiento y en las relaciones sociales, así como en la motivación académica del alumno o aprendiz (Shernoff *et al.*, 2017); particularmente, al referirnos a problemáticas relacionadas con la calidad de vida en comunidades marginadas, es importante destacar el acceso a tecnologías adecuadas, tanto para construir vivienda nueva como para hacer mejoras a viviendas existentes, particularmente soluciones para la rehabilitación de muros, techos y pisos, así como para dar atención al saneamiento básico.

De acuerdo con Figueroa (2009), las ecotecnias o ecotecnologías no son desconocidas por el sector rural; más bien, están inspiradas en tecnologías que solían ser implementadas antes de la pérdida de los valores constructivos de la vivienda regional o tradicional. Las ecotecnologías o ecotecnias constituyen herramientas y principios que buscan minimizar los impactos en el medio ambiente; son de sencilla realización y promueven el reciclaje y la reutilización y tienen bases científicas y tecnológicas que garantizan su funcionamiento (Sedesol, 2012). Como ecotecnologías se considera el uso

de materiales de la región, la eficiencia energética, los sistemas de tratamiento de residuos, el aprovechamiento de fuentes alternas de energía, etc., temática que, además, incide en los marcos de trabajo verdes.

Por otra parte, Jackelin Duarte (2003) considera que los ambientes de aprendizaje o educativos no se restringen sólo a los espacios físicos, sino que se refieren a cualquier espacio, ya sea infraestructura física o medio virtual, que genere o propicie significados nuevos y, por ende, aprendizajes significativos, razón por la cual los ambientes de aprendizaje deben diseñarse para que el estudiante utilice la información y los conocimientos para la realización de tareas que sean significativas y que las investigaciones que lleve a cabo, así como la toma de decisiones, lo capaciten para resolver problemas que aparecen en su contexto personal, social y profesional, particularmente con un enfoque de atención a problemáticas relacionadas con la calidad de vida en comunidades o grupos sociales marginados. Los espacios de aprendizaje, por otra parte, actúan como un instrumento inclusivo y solidario. La adecuación del contexto resulta clave para la inclusión. El objetivo 11 de la Agenda 2030 así lo demuestra al mencionar la necesidad de “lograr que las ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (González y Abad, 2020).

En el tema de mejoramiento de vivienda y saneamiento de comunidades es necesario implementar programas con bases sociales y solidarias, que contemplen tanto acciones de participación comunitaria como promoción del uso de tecnologías apropiadas. Esto generará un impacto en los aspectos social, educativo y ambiental, a corto, mediano y largo plazos (Juárez, 2021). Acciones que sólo serán posibles mediante el fortalecimiento de la formación de talento humano en espacios de aprendizaje.

En este proyecto se propone un espacio de aprendizaje continuo mediante el diseño y la habilitación de un Laboratorio de Ecotecnologías, para fortalecer la obtención de competencias en aprendices y/o estudiantes de posgrado del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en Oaxaca, México, en el cual se realiza la implementación de tecnologías sustentables, en beneficio de grupos sociales y/o comunidades vulnerables con una manifiesta desventaja en el acceso a la tecnología apropiada. Además, el espacio brinda herramientas a los docentes para mediar el aprendizaje, poniendo en prác-

tica lo asimilado en el aula, a nivel laboratorio o experimental, y después en comunidades de trabajo (Juárez, 2020), con lo cual se favorece la apropiación de competencias que inciden en el desarrollo comunitario sostenible.

Materiales y métodos

El proyecto del Laboratorio de Ecotecnologías como espacio de aprendizaje, promotor de conocimientos en respuesta a diversas problemáticas sociales, incluyó la adecuación de un espacio en el CIIDIR-Oaxaca del IPN para que funcione como área demostrativa y de experimentación de ecotecnias de estudiantes de posgrado, además del diseño de talleres con el propósito de que los estudiantes construyan aprendizajes, adquieran conocimientos y fortalezcan sus habilidades en el tema de las ecotecnologías, fomentándoles valores en relación con el problema ambiental. En este proyecto han participado diversos actores de la sociedad interesados en aprehender tecnologías sustentables.

Se realizó una etapa de diagnóstico para conocer las condiciones físicas y espaciales del contexto, así como para obtener información sobre los requerimientos y las necesidades de los profesores y los estudiantes que usarán el espacio de aprendizaje. La definición del tipo de ecotecnologías considera dar atención a las cinco necesidades básicas (ejes fundamentales mínimos) para el bienestar humano: la alimentación, la vivienda, el agua, la energía y el manejo de residuos (Ortiz *et al.*, 2014), además de analizar el contexto y las necesidades principales de la vivienda en las comunidades de Oaxaca, con base en diagnósticos previos de intervenciones realizadas por el grupo de trabajo del IPN.

Se realizó el análisis de marcos de trabajo verdes bajo criterios establecidos en BREEAM (1999) y LEED.¹ Posteriormente se seleccionaron tres ecotecnias, considerando el contexto de aplicación y las necesidades de los usuarios elegidos en una fase diagnóstica. Se procedió a determinar la definición de criterios de diseño y el modelo de intervención en comunidades.

El proyecto arquitectónico del espacio se realizó teniendo en consideración el diagnóstico, la planeación de acciones y el diseño del espacio, cada

¹ Leadership in Energy and Environmental Design.

uno de esos pasos con metodologías particulares y con la aplicación de técnicas e instrumentos (entrevistas y cuestionarios) para la captura de datos, que apoyaron en su conceptualización. El levantamiento arquitectónico se realizó aplicando la metodología de Yoan Beltrán (2011), la cual se basa en la *Metodología de la composición arquitectónica*, para determinar las dimensiones del espacio físico y su interrelación con el resto de la infraestructura y ubicar las ecotecnias demostrativas y las áreas complementarias para que el espacio brinde funcionalidad y un ambiente en el que los estudiantes puedan fortalecer sus competencias tanto cognitivas como sociales.

Se realizó un registro de materiales de construcción disponibles, tanto de tipo natural como fabricados, que se encontraban en el entorno del sitio seleccionado, con el propósito de que fueran empleados en la construcción del laboratorio de ecotecnologías. Esto como un criterio de sustentabilidad y para definir los sistemas constructivos que se debían emplear para la edificación del espacio.

En la etapa de diseño se utilizó la metodología de diseño participativo, con una dialéctica constante entre el diseñador y los usuarios, además de aplicar criterios sustentables que incidieran en el impacto generado en la etapa de construcción y operación del espacio de aprendizaje proyectado. El proceso de diseño se basó particularmente en los métodos de Livingston (2006) y de Opciones.

En la fase de implementación se realizaron talleres demostrativos de técnicas y sistemas constructivos para la adecuación del espacio, con participación preponderante de alumnos de la maestría en gestión de proyectos para el desarrollo solidario, en particular de la línea de trabajo en Diseño y Tecnologías Sustentables para la Edificación (DTSE), así como de otras personas interesadas en conocer sistemas de construcción alternativos.

Resultados

En concordancia con el modelo educativo del IPN (2011) se determinó que

los ambientes para el aprendizaje son escenarios que se diseñan considerando no sólo las condiciones materiales que le brinden al estudiante experi-

mentar y vivir el currículo; las relaciones interpersonales, las actitudes y los valores; la comunicación y la interacción también son factores que deben estar presentes para lograr los objetivos educativos. Estos ambientes son diversos y pueden diseñarse en diversos ámbitos, en las aulas, los hogares, los centros de trabajo y en aquellos espacios dedicados al esparcimiento.

Considerando lo anterior se organizan los resultados de la siguiente manera.

A. Diagnóstico

Respecto del diagnóstico de ecotecnias por implementar en comunidades, se realizó un análisis de las “Carencias por calidad y espacios de la vivienda”, así como de la “Carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda”, de acuerdo con el *Informe de pobreza y evaluación de Oaxaca (2018)* del Coneval que considera como sujeto de carencia a “la población que habita en viviendas con al menos una de las siguientes características”:

- El material de los pisos es de tierra.
- El material del techo es de lámina de cartón o desechos.
- El material de los muros es de barro o bajareque; de carrizo, bambú o palma; de lámina de cartón, metálica o asbesto, o material de desecho.
- La razón de personas por cuarto (hacinamiento) es mayor de 2.5.

En cuanto al análisis contextual y de necesidades para la implementación de ecotecnologías en comunidades marginadas, existe un riesgo para la sostenibilidad de las acciones, como resultado de la presencia de elementos concurrentes que delimitan un contexto de inequidad y que impide a las comunidades el acceso a tecnologías de calidad de bajo costo, es decir, tecnología apropiada a sus necesidades, a sus recursos y a sus expectativas, que, por otro lado, asegure igualdad de oportunidades de desarrollo comunitario, de bienestar social y, en consecuencia, acceso a mejores condiciones de vida; por lo cual es importante que las ecotecnologías cumplan con

características fundamentales que permitan la flexibilidad en su aplicación y el autoaprendizaje, considerando los diversos contextos socioculturales y ambientales de Oaxaca (Juárez, 2021).

En las diferentes comunidades de trabajo analizadas para la caracterización del contexto se encontraron similitudes de tipo sociocultural, pero diferentes tipos de recursos naturales por cuestiones climáticas y orográficas, principalmente, aunque predominó en todas ellas, como material de construcción, el uso de la tierra y diferentes técnicas constructivas aplicadas a la vivienda, así como prácticas solidarias ancestrales. En la tabla 1 se presenta un resumen de las problemáticas identificadas a partir del diagnóstico y las acciones pertinentes por implementar con ecotecnologías.

Tabla 1. *Diagnóstico y diseño de acciones para el desarrollo territorial*

<i>Problemática identificada a partir del diagnóstico</i>	<i>Acciones</i>
Acceso a los servicios básicos: Falta de infraestructura adecuada Mínima funcionalidad de soluciones existentes Desconocimiento sobre ecotecias	Implementar tecnologías de bajo impacto ambiental, como solución para la disposición de residuos sólidos, aguas grises, excretas y acondicionamiento de la vivienda.
Calidad y espacios en la vivienda: Recursos limitados para la construcción Materiales convencionales de alto costo Materiales de alto consumo energético	Implementar talleres de capacitación sobre técnicas constructivas con materiales locales.

Fuente: elaboración propia.

Ante este panorama, el enfoque educativo es importante como propiciador de un cambio social y ambiental que induzca o promueva en las personas el desarrollo de habilidades y capacidades, a través de un proceso de sensibilización, concientización, capacitación y/o fortalecimiento, aunado a los valores en favor de un desarrollo comunitario sostenible.

En otro aspecto de la fase de diagnóstico, se realizó un levantamiento físico, espacial y fotográfico del sitio en el área experimental del Laboratorio de Ecotecnologías, ubicado en la parte oriente de las instalaciones del CIIDIR-Oaxaca, para conocer sus condiciones, su tipo del terreno, su orientación y su entorno, con la participación de alumnos y profesores, acción validada como práctica solidaria.

Como resultado de aplicar criterios de sustentabilidad, se identificaron materiales como carrizo, paja, tierra, canaletas y estructuras metálicas en desuso, elementos para definir los sistemas constructivos de la edificación de

la obra, así como materiales de reciclaje. A partir del análisis contextual y de necesidades del ambiente de aprendizaje se realizó la planeación para la integración de espacios del laboratorio, el análisis de marcos de trabajo verdes, la definición de criterios de diseño, y el diseño en sí, de los espacios de aprendizaje, cuya planta de conjunto se muestra en la figura 1.

Figura 1. Área para el Laboratorio de Ecotecnologías



Fuente: elaboración propia.

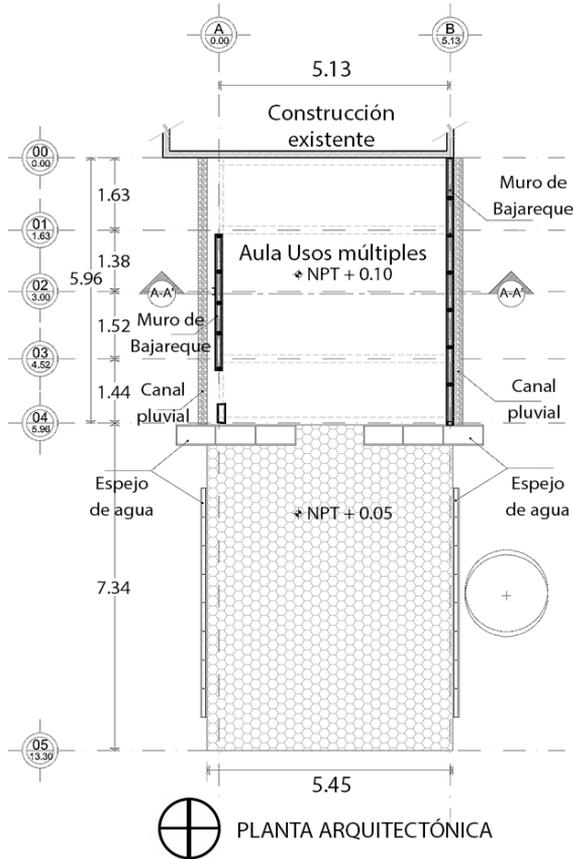
Para la creación del Laboratorio de Ecotecnologías se definieron estrategias y acciones como las siguientes: usar tecnología de tierra para muros y pisos, garantizar la recolección de agua pluvial, considerar diversas opciones para el tratamiento de residuos y diseñar e implementar talleres de capacitación sobre diversas ecotecnologías.

En el aula de usos múltiples, la mayor parte de los materiales es producto del reciclaje. La estructura principal, columnas y vigas, es de acero (perfiles, montenes y cimbras metálicas rectangulares); también parte del muro oeste y un tercio de la cubierta son cimbras metálicas reutilizadas unidas con soldadura. Los muros de carga están hechos a base de bajareque: una estructura de madera y carrizo de forma una malla doble y cuya sección se rellena de diferentes materiales: piedra, tierra y pasto, y después se repella

con tierra. El piso interior se hizo a base de cemento —una mezcla de tierra con 10% de cemento—, y el piso de la plaza, con adoquín hexagonal reciclado. Todos los materiales son aparentes; se conserva la apariencia oxidada de la estructura metálica, los muros de bajareque tienen acabados de tierra y el carrizo de la cubierta permanece descubierto, sólo con un acabado para protegerlo. En general, el espacio es de colores cafés, que simbolizan el color de la tierra.

La propuesta arquitectónica del espacio de usos múltiples requerido para realizar talleres y cursos de capacitación, empleando diversas ecotecnias para su construcción, se presenta en la figura 2.

Figura 2. Área de usos múltiples



Fuente: elaboración propia.

B. Análisis de marcos de trabajo verdes

Para la definición de un marco de trabajo es importante considerar los factores locales de presión: crecimiento de la población, efectos de la contaminación, uso del agua, urbanización y servicios. La construcción verde permite reducir el consumo de agua; en general, la sustentabilidad es una visión que considera el mejoramiento de la calidad de vida y el equilibrio de los ecosistemas; persigue la autosuficiencia en agua, energía y alimentación, y busca disminuir el impacto ambiental y la interrelación de los ejes de economía, ambiente y sociedad.

En un marco de trabajo verde se pretende minimizar el uso de materiales industrializados, considerar los impactos del ciclo de vida de esos materiales y preferir el empleo de materiales de la región (locales) y técnicas de construcción de bajo impacto ambiental.

Los criterios definidos con este enfoque consideran que el uso de tecnologías sustentables conlleva la preservación de los recursos naturales, la salud y el confort de los usuarios, la disminución de la contaminación por desechos o residuos, el ahorro de energía, así como el incremento de la vida útil de las edificaciones. Además, se consideran sistemas constructivos sostenibles aquellos que no generan impacto negativo al ambiente; se enfocan en la utilización de recursos, materiales y diseños ecoamigables, y están relacionados con la bioconstrucción, contribuyendo al confort y a la calidad del hábitat, como el bajareque y el adobe.

C. Ecotecnologías

Se obtuvo una relación de ecotecnias experimentadas y viables, para solucionar problemáticas comunes en comunidades marginadas y propiciar el fortalecimiento del desarrollo social. En la tabla 2 se pueden ver las ecotecnias seleccionadas.

Tabla 2. *Ecotecnias propuestas para solucionar problemáticas comunes en comunidades marginadas*

<i>Ecotecnología</i>	<i>Aplicación</i>
Recubrimiento natural de muros	Mejoramiento de vivienda rural
Biofiltro (aguas grises)	Saneamiento básico de vivienda
Techado	Rehabilitación de techos dañados
Captación de agua pluvial	Mejoramiento de servicios
Pisos de suelo cemento	Mejoramiento de vivienda rural
Baño seco	Saneamiento básico de vivienda
Muros verdes	Mejoramiento de vivienda
Estufas solares	Mejoramiento de servicios
Composta	Saneamiento y mejoramiento de servicios

Fuente: elaboración propia.

D. Talleres

Se implementaron dos talleres diseñados para que estudiantes, profesores y público interesado se capacitaran y aprendieran una de las ecotecnias seleccionadas para la construcción y/o el mejoramiento de viviendas (sistema constructivo de bajareque). Este taller se validó y sirvió para que se construyera una parte del espacio de usos múltiples del Laboratorio de Ecotecnologías. El taller sobre construcciones de tierra se tituló “Construcción natural o EcoConstrucción”, en el que impartió la introducción al sistema constructivo de bajareque, lectura y pruebas de tierra, aspectos de resistencia y cimentación, construcción de muros, especificaciones y estructura de la techumbre, con un total de 20 asistentes. El segundo taller fue más específico: “Taller de bioconstrucción con bajareque”, con 17 asistentes.

Es importante destacar que, como consecuencia de esos talleres se generó un proceso metodológico y la definición de criterios aplicados para la implementación de ecotecnologías en comunidades rurales y marginadas de Oaxaca, los cuales se presentan en la figura 3.

Figura 3. Diagrama del proceso metodológico para implementar tecnologías y promover el desarrollo sostenible



Fuente: elaboración propia.

Este proceso metodológico favorece la apropiación de soluciones y el empoderamiento de los actores, con el propósito final de lograr un desarrollo sostenible comunitario. Cada una de las fases se realiza con la participación de los agentes involucrados en el problema y tienen la guía de un agente mediador con experiencia.

Discusión

Los resultados del proyecto concuerdan con la hipótesis planteada por Shernoff *et. al* sobre “la influencia del desafío y el apoyo ambiental en el aprendizaje en las aulas, y el potencial de la participación de los estudiantes para actuar como mediadores en esta relación”, considerando el espacio diseñado como un aula abierta, y determinan que el “apoyo ambiental estaba significativamente relacionado con el aprendizaje percibido”.

Por otra parte, al incidir los objetivos de este proyecto con las diferentes acciones en los ámbitos de educación, vivienda, vulnerabilidad y salud, el desarrollo social puede producirse de acuerdo con la forma como señala Ochoa (2006), persiguiendo el mejoramiento de la calidad de vida, en estrecha relación con lo que plantea la ONU (2000) y considerando también las estrategias de Martínez (2007).

Conclusiones

La formación de talento humano permite llevar la tecnología a territorios marginados o en proceso de consolidación, en un contexto de inclusión social y promoción de saberes tecnológicos.

Un ambiente en el que el centro de atención es el estudiante o el aprendiz puede enriquecerse con la creación de espacios de aprendizajes flexibles y abiertos que trasciendan las dimensiones espacio-temporales de los procesos educativos tradicionales.

En el proceso de diseño, la importancia de utilizar criterios sustentables con base en el diagnóstico de sitio es fundamental para la determinación de uso de materiales que sean favorables al medio ambiente y de procedencia preferentemente local. Además, también es importante proponer sistemas constructivos que favorezcan la participación de la comunidad y, en consecuencia, la apropiación.

Las ecotecnias o ecotecnologías permean desde el enfoque de una tecnología apropiada a los grupos de trabajo, al incluir los aspectos participativos y contextuales, convirtiéndose en el ejercicio de una práctica de arquitectura social, en congruencia y pertinencia con el entorno y con los valores que promueve la economía solidaria de cooperación, participación, confianza, apropiación y empoderamiento.

A través de los resultados de la evaluación sustentable realizada en la etapa de diseño se demostró que las estrategias consideradas, referidas a materiales, técnicas constructivas amigables con el medio ambiente, implementación de tecnologías alternativas y diseño bioclimático, reflejan un cambio positivo en la comunidad, pasando de un nivel de impacto sustentable bajo a un nivel de impacto sustentable alto, al implementarse algunas ecotecnologías por parte de los aprendices.

El involucramiento y la participación activa de instituciones educativas y organizaciones sociales como actores son factores clave para un desarrollo inclusivo, congruente y pertinente.

Referencias

- Beltrán, Y. (2011). *Metodología de la composición arquitectónica*. Instituto Tecnológico de Pachuca.
- BREEAM (1999). *Método de evaluación medioambiental del Building Research Establishment: modelo de desarrollo sustentable europeo*. Gobierno de Reino Unido.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) (2018). *Informe de pobreza y evaluación de Oaxaca 2018*. Coneval.
- Duarte D., J. (2003). Ambientes de aprendizaje: una aproximación conceptual. *Estudios Pedagógicos*, (29), 97-113. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052003000100007>.
- Figueroa Jiménez, L. Y. (2009). *Apropiación en los conjuntos habitacionales*.
- González-Zamar, M. D., y Abad-Segura, E. (2020). Diseño del espacio educativo universitario y su impacto en el proceso académico: análisis de tendencias. *Revista de Estilos de Aprendizaje*, 13(25), 1-13. <https://doi.org/10.55777/rea.v13i25.1512>.
- Instituto Politécnico Nacional (IPN) (2011). *Notas del diplomado "Formación y actualización docente para un nuevo modelo educativo", tema 1: Ambientes para el aprendizaje*. IPN.
- Juárez Ruiz, L. (2020). *Diseño e integración de espacios de aprendizaje con criterios sustentables para un Laboratorio de Ecotecnologías* [informe técnico final SIP 2019 6174]. IPN, CIIDIR-Oaxaca, México.
- (2021). *Diseño e implementación de ecotecnologías con criterios sostenibles para promover el desarrollo social solidario en comunidades marginadas de Oaxaca* [Informe técnico final SIP 20201356]. IPN, CIIDIR-Oaxaca, México.
- Livingston, R. (2021). *Arquitectos de familia: El método: Arquitectos de la comunidad*. Nobuko.
- Martínez, J. E. (2007). *Estrategias para la sustentabilidad comunitaria*. Universidad de Puerto Rico.
- Ochoa León, S. M. (2006). Desarrollo social. Cámara de Diputados y Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. <https://www.diputados.gob.mx/cesop>.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2000, 1º de julio). Anexo: Nuevas iniciativas en pro del desarrollo social. Resolución aprobada por la Asamblea General (A/RES/S-24/2). ONU.
- Ortiz-Moreno, J. A., Masera-Cerutti, O., y Fuentes-Gutiérrez, A. F. (2014). *La ecotecnología en México*. Imagia.
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) (2012). *Guía de ecotecnia para centros de desarrollo comunitario*. Sedesol.
- Shernoff, D. J., Ruzek, E. A., y Sinha, S. (2017, abril). The Influence of The High School Classroom Environment on Learning as Mediated by Student Engagement. *School Psychology International*, 38(2), 201-218. <https://doi.org/10.1177/0143034316666413>.

III. La pulpa de café como parte de la economía circular en una comunidad rural oaxaqueña

MAYRA ATALI TERÁN-RAMÍREZ*
JUANA YOLANDA LÓPEZ-CRUZ**
GEMA LUGO-ESPINOSA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.03>

Resumen

La industria cafetalera genera una gran cantidad de residuos de alto impacto al medio ambiente por efecto de su descomposición; sin embargo, existen estudios que demuestran que los residuos del café tienen una alta cantidad de componentes útiles en diversas industrias, por lo que es apta para ingresar a la economía circular. El objetivo de este estudio fue analizar las formas de uso de la pulpa existentes tanto en productores de Oaxaca como en la comunidad San Juan Juquila Vijanos. Se aplicaron entrevistas a 30 productores de la comunidad y un estudio de mercado en una feria de productores agrícolas para comparar las formas de uso de los residuos del café. Los resultados muestran algunas alternativas de aprovechamiento: tisanas para elaborar bebidas, harinas, mermeladas, sustrato para el cultivo de hongos, alimento para ganado, además de que se están implementando formas de reducir las aguas y las mieles mediante sistemas de tratamiento, los cuales se aprovechan para producir biofertilizantes. El factor principal para el óp-

* Maestra en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas. Doctoranda del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6439-2598>

** Doctora en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico. Profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-2245>. Autora de correspondencia: jylopez@ipn.mx

*** Doctora en Ciencias Agrarias y posdoctoranda en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2030-674X>

timo proceso de aprovechamiento de la pulpa es recolectarla y secarla inmediatamente para evitar su contaminación y descomposición y que sea apta para su consumo. En la comunidad de estudio se hace poco uso de la pulpa, a diferencia de otras comunidades que elaboran distintos productos como harinas, tisanas y panes a base de la pulpa que distribuyen por medio de las ferias que contribuyen a la economía familiar, toda vez que los residuos se transforman en nuevos derivados.

Palabras clave: *estrategias de aprovechamiento; materia prima; eficiencia energética.*

Introducción

Ante la preocupación por los problemas ambientales, a partir de 1987, en el Informe Brundtland se usó por primera vez el concepto “desarrollo sustentable”, que implica atender las necesidades del presente sin afectar a las generaciones futuras, y a partir de 1995 se consideró incluir los usos tradicionales de las comunidades y la salvaguarda del ambiente (Ávila-López y Pinkus-Rendón, 2018); posteriormente, surgió la corriente teórica de la economía verde, la cual postula el “crecimiento cualitativo, eficiencia en el uso de recursos naturales; promueve proyectos de inversión e innovación tecnológica y amigable con el medio ambiente, desarrollo económico y oportunidades laborales; que abarca bienestar, equidad, uso racional de recursos y sostenibilidad” (Ávila-López y Pinkus-Rendon, 2018; Partida Sedas *et al.*, 2023). La economía circular es considerada una herramienta de la economía verde y contempla tres principios básicos: eliminar residuos y contaminación, regenerar sistemas naturales, mantener productos y materiales en uso (McCourtie, 2021).

Debido a ello, como parte de este planteamiento que se basa en la sustentabilidad con respecto al cuidado del medio ambiente, mediante el uso total de los productos, la economía circular ha adquirido importancia y se busca que sea aplicada en diversos productos, entre ellos el café, que a nivel mundial se considera uno de los productos agrícolas más importantes. Tiene su origen en Etiopía y en México se adaptó gracias a sus excelentes con-

diciones climáticas y de suelo, por lo que logró posicionarse como el cuarto productor a nivel mundial; sin embargo, a finales de la década de 1980 empezó a decaer la producción, debido a las razones siguientes: el cambio climático, plagas y enfermedades como la roya y la broca, y el abandono de tierras por la migración, con lo que descendió al onceavo lugar, con un promedio de 899 000 toneladas de producción, siendo Oaxaca el cuarto productor a nivel nacional (SIAP, 2021).

La industria cafetalera se basa en el modelo económico caracterizado por la producción masiva para satisfacer su alto consumo. De la cereza del café el grano que se utiliza para obtener la bebida de consumo, solo representa 38.7%; el resto, 61.3%, son residuos (Gómez, 2010), lo que genera un gran problema ambiental al desecharlos. El residuo de mayor volumen es la pulpa, esto es, el mesocarpio o la parte externa del fruto del café, que representa 43.2% del fruto, el cual se caracteriza por contener una alta carga de elementos esenciales, aminoácidos y fibra, que se pueden convertir en sustancias tóxicas por efecto de la descomposición, por lo cual, para poder reutilizarlos, es necesario un manejo especial (Alemayehu *et al.*, 2022; Grasinio *et al.*, 2022). El segundo residuo que se genera es el mucílago con una gran cantidad de pectina, que representa 11.8%. Otro residuo es el pergamino, el cual constituye 6.1% del fruto; está constituido por celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas y, por último, la piel plateada, que representa 0.2% del fruto (Gómez, 2010); el pergamino se elimina en la fase de tostado. Estos representan un aporte de fibra dietética y prebióticos en los productos alimenticios, lo que indica que los diferentes residuos del café se pueden utilizar en diferentes industrias gracias a sus propiedades, por lo que es necesario establecer alternativas para el manejo de estos residuos que permitan aprovechar al máximo la cereza del café, con las que se generen ingresos adicionales, se creen fuentes de empleo locales y se reduzca el impacto ambiental, alternativas que formen parte de la economía circular para aportar al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sustentable, logrando así trabajar de manera eficiente con todos los recursos necesarios, incluyendo la energía (Quiroa, 2019).

Son diversas las formas en las que se ha aprovechado la pulpa de café; destaca su uso como: biocombustible, proteína celular y sustrato para cultivar hongos comestibles (Wong *et al.*, 2013; González Medina, 2001). La

película dorada del café puede ser utilizada como acolchado de cultivos (Pagliarini *et al.*, 2023) y papel amate (Aguilar-Rivera *et al.*, 2014). En el ámbito alimenticio se ha utilizado en la elaboración de galletas (Desai *et al.*, 2020; Belmiro *et al.*, 2022), pastas (Biernacka *et al.*, 2021), infusiones (Martínez-Morales y Jaramillo-Gamboa, 2023), entre otras, así como para alimentación de ganado (Pedraza-Beltrán *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2014).

Asimismo, la pulpa seca tiene un alto potencial para ser aprovechada en productos alimenticios, ya que contiene nutrientes esenciales, fenoles, antioxidantes, proteínas y macronutrientes (Fierro-Cabrales *et al.*, 2018), por lo que el objetivo de esta investigación fue analizar y comparar la eficiencia de las estrategias utilizadas para el aprovechamiento de los residuos de café en la comunidad de estudio.

Materiales y métodos

La metodología consistió en un análisis documental cualitativo y comparativo, además de entrevistas informales semiestructuradas con los productores de San Juan Juquila Vijanos, para analizar los usos que se le dan a la pulpa de café. El área de estudio se localiza entre las coordenadas 17° 21' 15" de latitud norte y 98° 18' 12" de longitud oeste, en la Sierra Norte de Oaxaca, distrito Villa Alta, a 139 km de la capital, a 1 520 metros sobre el nivel del mar. La superficie del municipio es de 6 292 hectáreas (INEGI, 2015). También se hizo un análisis de mercado en las ferias que llevan a cabo los grupos de trabajo del programa Producción para el Bienestar en Oaxaca sobre los productos que elaboran con subproductos de café.

La investigación se realizó en tres etapas durante el periodo de marzo a agosto de 2023: la primera consistió en la revisión documental de las fuentes de las dependencias involucradas en la producción de café y la conservación de recursos naturales; la segunda involucró visitas de campo y entrevistas, mediante muestreo probabilístico a conveniencia, combinado con la técnica “bola de nieve” aplicado a 30 personas. Se consideró que el uso de esta herramienta proporcionó confianza y aceptación por parte de los productores de café de la comunidad de estudio. Durante la tercera etapa

se complementó la información por medio de la observación no participante, para llevar a cabo la integración del documento final.

Entre las dificultades que se presentaron en la realización de este trabajo sobresalen los horarios de las personas, la distancia de la comunidad de estudio y la disposición a las actividades, ya que principalmente se dedican a labores de campo. Entonces la forma de obtener información fue a través de la realización de varias visitas durante el periodo determinado para encontrar en diversos momentos a las personas productoras sin afectar sus labores.

Resultados

Los resultados demuestran que ya existen antecedentes de conservación de los recursos y del aprovechamiento de la pulpa de café, pues los productores que pertenecen al programa Producción para el Bienestar en Oaxaca hacen uso de la pulpa de café para elaborar y vender tisanas, harina, mermelada, pan, panqué, todos en el contexto de la industria alimenticia. También trabajan en la elaboración de abono y de lixiviados, tanto para la venta como para mejorar los suelos de cultivo.

En la comunidad San Juan Juquila Vijanos, un grupo reducido de agricultores aprovecha la pulpa de café, el resto de la población la desecha principalmente por desconocimiento de los productos y los beneficios de ésta. La práctica que se realiza de manera cotidiana consiste en colocar la pulpa de café en sus terrenos como acolchado para que se transforme en abono con el tiempo, sin ningún tipo de tratamiento especial.

Actualmente los productores que pertenecen al grupo de Producción para el Bienestar, a través de las escuelas de campo están recibiendo capacitaciones sobre el uso de la pulpa y para elaborar sistemas de tratamiento de las aguas y las mieles que se generan en la transformación del café, así como también para aprovechar la pulpa en la elaboración de productos alimenticios.

Otro aspecto en el que ha apoyado la escuela de campo y el programa de Producción para el Bienestar consiste en elaborar cafés de mejor calidad y de especialidad, como se pudo observar en la feria Encuentro de Saberes y Agrobiodiversidad realizada en el parque Juárez el Llano, en la colonia Centro de la capital de Oaxaca, el 31 de marzo de 2023, en la cual los produc-

tores compartieron experiencias y presentaron diversos productos tanto del café como de todo tipo de cultivos de las diferentes regiones del estado (véase la tabla 1), los cuales se clasifican principalmente en dos tipos: alimenticios y biofertilizantes.

Tabla 1. Estrategias de uso de la pulpa de café

<i>Estrategia de uso</i>	<i>Subproducto del café</i>	<i>Proceso de elaboración</i>	<i>Se aplica SJJV</i>	<i>Beneficio</i>	<i>Propiedades</i>	<i>Eficiencia energética</i>
Pan	Pulpa	Secado, molido, preparación, horneado	Sí	Alimenticio	Alto contenido de nutrientes	Medio
Mermelada de café	Pulpa	Secado, molido, preparación	No	Alimenticio	Alto contenido de nutrientes	Medio
Panque	Pulpa	Secado, molido, preparación, horneado	No	Alimenticio	Alto contenido de nutrientes	Medio
Infusión	Pulpa	Secado, hervido	Sí	Alimenticio	Alto contenido de nutrientes	Alto
Galletas	Pulpa	Secado, molido, preparación, horneado	No	Alimenticio	Alto contenido de nutrientes	Medio
Sustrato para cultivo de hongos	Pulpa	Desinfectado, secado, siembra	No	Cultivos	Mejorar la calidad de suelo	Medio
Joyería	semilla	Tostado, perforado, armado	Sí	Estético	Decoración	Medio
Bloques nutricionales	Pulpa	Ensilaje	Sí	Alimentación de ganado	Alto contenido de nutrientes	Alto
Biofertilizantes	Pulpa	Lixiviado	Sí	Ahorro de insumos externos	Ciclaje de nutriente	Alto
Abono	Pulpa	Ensilaje	Sí	Ahorro de insumos externos	Mejorar el suelo	Alto
Jabones	Café gastado		No	Estético	Higiene	Medio

Nota: SJJV = San Juan Juquila Vijanos.

Fuente: elaboración propia con base en resultados de campo durante la feria Encuentro de Saberes y Agrobiodiversidad, 2023.

Procesos de transformación de la pulpa de café

Se pueden elaborar productos alimenticios derivados de la pulpa de café, los cuales se engloban en las siguientes fases:

1. *Recolección.* La pulpa de café se obtiene en la fase de despulpado para lo cual se debe cuidar la higiene de los utensilios con los que se recolecta. Todo se realiza de forma artesanal y de esta manera las personas de la comunidad mantienen sus saberes locales y los enseñan a las nuevas generaciones.

2. *Secado o deshidratado*. Se puede realizar directamente al sol o con deshidratadores eléctricos o de gas. Este proceso se tiene que hacer de manera inmediata para evitar la fermentación; hasta este punto ya se puede utilizar la pulpa de café para elaborar tisanas, también conocidas como infusiones.
3. *Molido y tamizado*. Se puede realizar en molinos eléctricos o manuales y el producto se pasa por un tamiz para que tenga el tamaño deseado. A partir de esta fase se pueden preparar productos como pan, panque y galletas [Desai *et al.*, 2020; Belmiro *et al.*, 2022].

El proceso que se realiza en la comunidad para el uso de los residuos de café se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1. Obtención de los residuos de café en San Juan Juquila Vijanos



Notas: 1. Recolección de la pulpa de café. 2. Eliminación del mucílago y aguas de lavado. 3. Eliminación del pergamino.

Fuente: elaboración propia con base en la recolección de datos en San Juan Juquila Vijanos, 2023.

En la comunidad de estudio fue posible observar que gracias a las acciones de aprovechamiento de residuos para la elaboración de biofertilizantes y lixiviados, la gente de la comunidad mantiene espacios libres de contaminación, de fauna nociva y de plagas. Aunado a ello, los procesos de capacitación en las escuelas de campo para conocer los usos de la pulpa de café representan el inicio de una etapa de cambios positivos para el mejor manejo y uso de los recursos naturales. En la tabla 1, se muestran las formas de uso de la pulpa de café en la comunidad de estudio; a partir de esta, observamos una aplicación que contribuye a la economía circular en

el proceso productivo del café, tanto para productos alimenticios como para biofertilizantes.

Existen otras formas de elaborar la harina de café llamada extrusión, la cual consiste en aplicar alta presión y temperatura, mediante un periodo corto de tiempo, con ayuda de rotores. Este proceso puede o no incluir una fase de cocción, tiene mayores beneficios que el proceso antes mencionado, ya que mejora las condiciones del producto, en cuanto a textura, composición y nutrientes. Además de que es un proceso ecológico ya que no utiliza agua en su proceso y reduce la cocción, el molido y el mezclado en una misma fase (Rivas Vela, 2018). Aunque no se utiliza en la comunidad, vale la pena mencionar esta fase por las ventajas que representa frente al proceso ya descrito.

Para la producción de biofertilizantes se siguen los siguientes procedimientos

1. Para la elaboración del abono, se coloca en camas, las cuales se deben cubrir con plástico; se puede mezclar con materia orgánica y, dependiendo de su uso, se puede agregar cal o ceniza para disminuir la acidez. Se debe remover cada 20 días; este proceso puede tardar de 120 a 180 días (Rendón Sáenz *et al.*, 2015).
2. Para la producción de lixiviados, se elaboran unos sistemas de tratamiento de las aguas del lavado y de las mieles del lavado para evitar que éstas contaminen el suelo y los ríos, y el producto que se obtiene se utiliza para mejorar la calidad del suelo. Éste se lleva a cabo utilizando recipientes conectados con tuberías de PVC, en los cuales se van infiltrando los residuos, que promueve el programa Producción para el Bienestar (Barreto *et al.*, 2019).

Existen otros procesos productivos con base en la pulpa de café en los cuales se siguen fases complejas, para las cuales necesitan maquinarias y métodos más controlados como los de las industrias farmacéutica y cosmética.

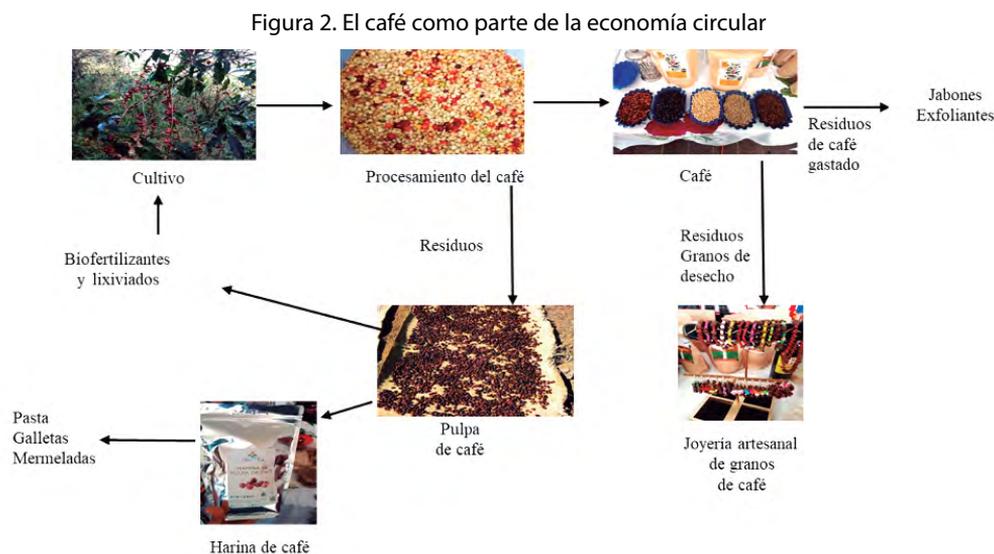
Eficiencia energética

Al aprovechar la pulpa de café, se está haciendo un uso más eficiente del grano; sin embargo, este puede variar dependiendo del procesamiento que

se le dé. Por ejemplo, las tisanas son el producto más sencillo, ya que para su elaboración se debe deshidratar, lo que se puede hacer en camas de secado solares (Serrat-Díaz *et al.*, 2018) o utilizando hornos o deshidratadores eléctricos o de gas (Fierro-Cabrales *et al.*, 2018). Otro procedimiento más complejo es el molido el cual depende de la maquinaria utilizada. Actualmente, para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible se pide a las empresas cadenas de producción limpias, por lo que se procura utilizar la menor cantidad de energía eléctrica posible y evitar la generación de residuos.

El café en la economía circular

En la industria cafetalera se puede implementar el esquema de economía circular, ya que el aprovechamiento tanto de la pulpa, como el pergamino, el mucílago o las aguas y las mieles del lavado podrían disminuir los residuos y la contaminación. Lo anterior generaría ingresos económicos pues se elaborarían productos como alimentos, artículos medicinales y cosméticos, así como biofertilizantes y lixiviados que ayudan a regenerar los suelos agrícolas (McCourtie, 2021).



Fuente: elaboración propia, 2023.

Los subproductos que se generan, considerados residuos son aprovechados y algunos ejemplos de los productos que se elaboran a partir de ellos, se muestran en la figura 2. Todos se comercializan en las ferias del programa Producción para el Bienestar.

Discusión

La economía circular, como alternativa frente al consumo desmedido, incorpora valores de uso y aprovechamiento de los desechos generados en los sistemas de producción y busca la reducción de emisiones contaminantes; además, representa una forma de agregar valor a la cadena de consumo de un producto. Mediante el compostaje industrial se aprovecha la biomasa de fuentes renovables y la incorporación de fuentes biodegradables (Ávila-López y Pinkus-Rendon, 2018, y Partida Sedas *et al.*, 2023). En la elaboración de nuevos subproductos derivados pueden detonarse espacios de creación.

La economía circular contempla el uso eficiente de los recursos y la reducción en la generación de residuos, poniendo énfasis en la sostenibilidad de las materias primas, así como en su destino. Por su parte, existen herramientas y métodos basados en el ciclo de vida de un producto y en el flujo de materiales: el análisis de flujo de vida se refiere al análisis de rendimiento de las cadenas de proceso que comprenden extracción o cosecha, transformación química, fabricación, consumo, reciclado y eliminación de materiales (Loiseau *et al.*, 2016).

Algunos proyectos de economía circular en México tienen una estrecha relación con la implementación de elementos rescatables para su aprovechamiento (Carrillo González y Ponce, 2019). En este tenor, esta investigación coincide en que la utilización de la pulpa de café parte de una propuesta para reducir contaminantes en el medio ambiente, apoya una tendencia en torno del aprovechamiento de los residuos del café y contribuye al desarrollo sustentable con aporte económico a la comunidad.

Desarrollar una cultura de reciclaje, reúso y renovación implica una labor de convencimiento social sobre los resultados que se pueden generar este cambio positivo hacia una economía circular en comunidades se pueden implementar talleres de participación comunitaria para brindar capa-

citación a las personas que trabajan a la producción de café y resguarden la pulpa que separan del grano durante el proceso de beneficiado. Lo que se observó en las escuelas de campo de la comunidad reafirma que la capacitación es un elemento clave para detonar procesos que contribuyan al desarrollo sustentable.

La producción de café genera una gran cantidad de subproductos que pueden ingresar a la economía circular, lo cual podría beneficiar a los tres ejes de la sostenibilidad: el ambiental, al disminuir los residuos; el económico, al generar nuevos productos y el social, al generar productos para la satisfacción de las necesidades sociales.

Gracias al trabajo de Fierro Cabrales y colaboradores (2018) podemos saber que la pulpa de café tiene un alto contenido de nutrientes: antioxidantes, proteínas y minerales aptos para ser incorporados en nuevas cadenas de producción. Por su parte, Desai y colaboradores (2020) elaboraron galletas utilizando el café verde sin tostar y el café verde tostado, y Martínez Morales y Jaramillo-Gamboa (2023) hicieron galletas y con el pergamino y la pulpa produjeron infusiones, mientras que Biernacka *et al.* (2021) elaboraron pasta.

Conclusiones

En esta investigación se presentaron las actividades que se llevan a cabo en la comunidad San Juan Juquila Vijanos algunos productores, entre las cuales destaca la elaboración de subproductos alimenticios con base en el aprovechamiento de la pulpa de café. En la comunidad han funcionado las escuelas de campo para capacitar a las personas y detonar procesos de cambio hacia la economía circular y el aprovechamiento sustentable mediante el manejo de residuos durante la producción de café.

El patrón de consumo de alimentos a nivel mundial se basa en productos ultraprocesados, por lo que se busca que éstos provengan de fuentes naturales, con producción sostenible, y, como en este caso, aprovechar los residuos, lo que podría propiciar el cumplimiento de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En este caso se contempla el uso de la pulpa de café en la industria alimentaria, que es una de las prioridades en la población con mayor escasez económica, así como también el uso de produc-

tos de mayor contenido nutricional y saludables para la población urbana que presentan una gran cantidad de enfermedades por la mala calidad de alimentación.

A partir de la economía circular se puede generar una fuente de nuevos productos alimenticios que propicien ingresos económicos a la población, así como la conservación de su entorno natural, toda vez que la población involucrada —en este caso los productores de la comunidad— mantenga el interés en el aprovechamiento de la pulpa de café.

Recomendaciones

Se sugiere llevar a cabo una mayor difusión de los usos y los beneficios de la pulpa de café en la industria alimenticia para promover su aprovechamiento, y de ese modo disminuyan las afectaciones que genera la producción de ese grano e incursionar en la economía circular.

Se propone mantener los procesos de capacitación y que se extiendan para que la información llegue a más personas que usan la pulpa de café para que puedan presentar sus productos en las ferias regionales para su venta.

Agradecimientos

Extiendo un agradecimiento especial a los productores de café de San Juan Juquila Vijanos, Oaxaca, por facilitarnos el análisis de su actividad económica, así también al Instituto Politécnico Nacional que a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado otorgó el financiamiento para el proyecto SIP 20230178 y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo para la beca de posgrado, así como a la beca de Estancia Posdoctoral.

Referencias

- Aguilar-Rivera, N., Houbron, E., Rustrian, E., y Reyes- Alvarado, L. (2014). Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) (residuo de beneficio húmedo). *Ra Ximhai*, 10(3), pp. 103-117.
- Alemayehu, Y. A., Asfaw, S. L., y Terfie, T. A. (2022). Hydrolyzed Urine for Enhanced Valorization and Toxicant Degradation of Wet Coffee Processing Wastes: Implications for Soil Contamination and Health Risk Reductions. *Journal of Environmental Management*, 307, 12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114536>.
- Ávila-López, C. M., y Pinkus-Rendon, M. J. (2018). Teorías económico-ambientales y su vínculo con la dimensión social de la sustentabilidad en Áreas Naturales Protegidas. *Ciencia UAT*, 13(1), pp. 108-122. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.960>.
- Barreto Zúñiga, J. C., Tovar Lizcano, P., y Olaya Almada, A. (2019). Sistema de tratamiento para aguas mieles producto del beneficio húmedo del café con moringa oleífera lam como bioadsorbente para el pequeño caficultor colombiano. *Ingeniería y Región*, 24, pp. 105-115.
- Belmiro, R. H., De Carvalho Oliveira, L., Tribst, A. A. L., y Cristianini, M. (2022, enero). Techno-functional Properties of Coffee By-products are Modified by Dynamic High Pressure: A Case Study of Clean Label Ingredient in Cookies. *LWT*, 154, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112601>.
- Biernacka, B., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., y Różyło, R. (2021, marzo). Common Wheat Pasta Enriched with Cereal Coffee: Quality and Physical and Functional Properties. *LWT*, 139, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110516>.
- Carrillo González, G., y Ponce Sánchez, J. I. (2019). Economía circular, bioeconomía y biorrefinerías. En G. Carrillo González y L. G. Torres Bustillos (coords.), *Biorrefinerías y economía circular* (pp. 15-34). UAM-X.
- Desai, N. M., Mallik, B., Sakhare, S. D., y Murthy, P. S. (2020). Prebiotic Oligosaccharide Enriched Green Coffee Spent Cookies and Their Nutritional, Physicochemical and Sensory Properties. *LWT*, 134, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109924>.
- Fierro-Cabrales, N., Contreras-Oliva, A., González-Ríos, O., Rosas-Mendoza, E. S., y Morales-Ramos, V. (2018, abril). Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). *Agroproductividad*, 11(4), pp. 9-13. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/261>
- Gómez, G. (2010). Cultivo y beneficio del café. *Revista de Geografía Agrícola*, (45), pp. 103-193.
- González Medina, J. J. (2001). *Aprovechamiento integral de pulpa de café: remoción de cafeína y taninos usando lixiviación con agua* [tesis de licenciatura]. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Grassino, A. N., Šušić, I., y Fiket, Ž. (2022). Evaluation of Coffee and Coffee Waste Fractions as Mineral Sources Based on Their Multi-element Composition. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 20. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2076220>.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2005). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: San Juan Juquila Vijanos* (clave geoestadística 202001). INEGI.
- Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., y Thomsen, M. (2016). Green Economy and Related Concepts: An Overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, pp. 361-371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>.
- Martínez-Morales, E. S., y Jaramillo-Gamboa, R. A. (2023). Análisis de aceptabilidad y percepción del consumidor de aplicaciones alimentarias de subproductos de café. *Informador Técnico*, 87(1), pp. 40-52. <https://doi.org/10.23850/22565035.5192>.
- McCourtie, S. D. (2021, 26 de marzo). La economía circular: un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer al medio ambiente. *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>.
- Pagliarini, E., Totaro, G., Saccani, A., Gaggia, F., Lancellotti, I., Di Gioia, D., y Sisti, L. (2023, mayo). Valorization of Coffee Wastes as Plant Growth Promoter in Mulching Film Production: A Contribution to a Circular Economy. *Science of the Total Environment*, 871, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162093>.
- Partida Sedas, S., Leyva Trinidad, D., y Gonzáles Reséndiz, J. (2023). Aplicación de los principios de la economía circular como mecanismo para alcanzar el desarrollo sostenible. En I. Fernández (ed.), *Reconstrucción de una economía social para lograr el desarrollo sustentable* (pp. 27-41). Códice.
- Pedraza-Beltrán, P., Estrada-Flores, J. G., Martínez-Campos, A. R., Estrada-López, I., Rayas-Amor, A. A., Yong-Angel, G., Figueroa-Medina, M., Avilés-Nova, F., y Castelán-Ortega, O. (2012). On-farm Evaluation of the Effect of Coffee Pulp Supplementation on Milk Yield and Dry Matter Intake of Dairy Cows Grazing Tropical Grasses in Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 329-336. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0025-9>.
- Pinto, R. R., Medina, J. A., Medina, F. J., Guevara, F., Gómez, H., Ley, A., y Carmona, J. (2014). Sustitución de melaza por mucílago de café (*Coffea arabica* L.) en bloques nutricionales para rumiantes. *Archivos de Zootecnia*, 63(241), pp. 65-71. <https://doi.org/10.21071/az.v63i241.564>.
- Rendón Sáenz, J., García López, J., González Osorio, H., y Ramírez Patiño, J. (2015). Análisis técnico del proceso de lombricultura en pulpa de café para la producción de abono orgánico. *Cenicafé*, 66(2), 7-16.
- Rivas Vela, C. (2018, noviembre). *Modificación de la pulpa de café mediante extrusión y su aprovechamiento en productos de panificación* [tesis de maestría en ciencias de los alimentos]. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2021). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. SIAP. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Wong Paz, J. E., Guyot, S., Rodríguez Herrera, R., Gutiérrez Sánchez, G., Contreras Esquivel, J. C., Saucedo Castañeda, G., y Aguilar, C. N. (2013). Alternativas actuales para el manejo sustentable de los residuos de la industria del café en México. *Acta Química Mexicana*, 5(10), pp. 33-40.

IV. El patrimonio biocultural de los artesanos de carrizo y las estrategias de resiliencia: caso de Santa Cruz Papalutla, Tlacolula, Oaxaca, México

JUANA YOLANDA LÓPEZ-CRUZ*

CYNTHIA CRUZ-CARRASCO**

VICTORIA BAUTISTA-LÓPEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.04>

Resumen

Introducción: La resiliencia cultural se puede ver reflejada en la persistencia y la recuperación de rasgos originarios identitarios a pesar de los factores externos. Un ejemplo de esto es la producción artesanal a partir de carrizo, la cual ha sobrevivido y ha permitido a los artesanos enfrentar circunstancias adversas como el hambre, la urbanización, la migración y problemas sanitarios como el covid-19, mediante el arraigo en su entorno medioambiental y cultural. *Objetivo:* Determinar las estrategias de resiliencia para la conservación del patrimonio biocultural de los productores de artesanía de carrizo en Santa Cruz Papalutla, Tlacolula, Oaxaca, en situaciones de adversidad, como fue el covid-19. *Metodología:* Este estudio es de naturaleza cualitativa y está respaldado por observación no participante y entrevistas semiestructuradas. La selección de la muestra fue a conveniencia, en combinación con la técnica de “bola de nieve”. La recolección de datos se realizó

* Doctora en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico y profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-2245>; Autora de correspondencia: jylopez@ipn.mx

** Doctora en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico. Posdoctoranda en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9419-3381>

*** Maestranda en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5303-3723>

en marzo de 2023 y consistió en una entrevista semiestructurada que se aplicó a una muestra de 30 personas. *Resultados y conclusiones:* A pesar de las consecuencias negativas de la pandemia provocada por el covid-19, los artesanos identificaron aspectos positivos como el fortalecimiento del comercio local y la unión de las familias ante la adversidad y concluyeron que es necesario implementar estrategias de reproducción social dirigidas a los jóvenes que permitan valorar los conocimientos tradicionales y se concienticen acerca de la importancia que tiene la conservación de su patrimonio histórico-cultural.

Palabras clave: *prácticas ante covid-19, conocimientos tradicionales, resistencia y/o adaptación ante adversidades.*

Introducción

El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas está relacionado con el vínculo entre las comunidades indígenas y el medio ambiente; asimismo, constituye una herramienta de desarrollo y conservación en la que los conocimientos tradicionales se transmiten a su descendencia y han permitido la preservación de *know-how* (saberes) locales. A principios de 2020 se declaró una crisis internacional debido a la epidemia del SARS-CoV-2 que afectó el entorno laboral y el consumo de personas, familias y empresas a nivel mundial, planteando desafíos para los gobiernos y la sociedad (Muellbauer, 2020). Ante la crisis, los artesanos se vieron obligados a resistir, subsistir y evolucionar en el entorno (Salanova, 2009).

El concepto de resiliencia tiene dos vertientes importantes: en primer lugar, se refiere a “esa virtud de aguantar las desgracias”; en segundo, a “ser capaz de fortalecerse a partir de ellas”. Teniendo dos componentes positivos que interactúan: la resiliencia a la desintegración y la capacidad para reconstruir sobre escenarios o factores hostiles [Suárez, cit. en Duquesnoy, 2014, p. 72].

En el mundo actual, frente al modelo de desarrollo hegemónico, puesto que las formas de apropiación de la sociedad se apoderan de la naturaleza, es importante analizar la resiliencia y la adaptabilidad, frente a diferentes

contextos ecológicos, psicológicos y culturales, así como el desempeño de los organismos para superar condiciones adversas, mejorando la capacidad de resistencia y adaptación de la sociedad (Ruiz Barajas, 2018).

En nuestro país, diversas comunidades se encuentran desarrollando resiliencia, definida como “la capacidad de reinventarse y proteger sus conocimientos y saberes tradicionales frente al proyecto hegemónico moderno”. Romero Moragas (2017) destaca la importancia de preservar o resignificar el patrimonio de las comunidades mediante la conservación de semillas originarias, metodologías agrícolas tradicionales, edificaciones biológicas o acciones artesanales que contribuyen no sólo a la protección del patrimonio biocultural sino también a la conservación de sistemas socioecológicos capaces de responder a diversas crisis sin poner en riesgo su integridad y su identidad.

Patrick y Mindahi Bastida (2010), muestran la importancia de tres estrategias para proteger el patrimonio biocultural: el autodiagnóstico, la prevalencia del conocimiento y las formas de transferencia de las prácticas productivas de acuerdo con instituciones locales, y la protección legal de los conocimientos relacionados con plantas y animales. En este estudio se discutirán las estrategias para proteger el patrimonio biocultural, como el autodiagnóstico y la reproducción del conocimiento y las formas de transmisión de las prácticas productivas, según las instituciones de usos y costumbres, en tiempos inciertos como el de la pandemia por covid-19.

Nuestro objetivo fue determinar las estrategias de resiliencia para la conservación del patrimonio biocultural de los productores de artesanía de carrizo de Santa Cruz Papalutla, Tlacolula, Oaxaca, en tiempos de crisis e incertidumbre por la contingencia sanitaria del covid-19.

Se analizó la actividad artesanal del carrizo (*yaxtily*, en lengua zapoteca), del municipio de Santa Cruz Papalutla, ubicado en los Valles Centrales de Oaxaca, junto a las formas de producción agrícola y la relación hombre-naturaleza, como parte de su identidad étnica (Enríquez *et al.*, 2019).

Metodología

La investigación se realizó en el municipio de Santa Cruz Papalutla, ubicado entre los paralelos 16° 55' y 16° 59' de latitud norte y los meridianos

96° 34' y 96° 37' de longitud oeste, a una altitud de 1 500 y 1 700 m. Ocupa el 0.02% de la superficie del estado, cuenta con tres localidades y una población total de 2 242 personas (INEGI, 2020).

La metodología fue de tipo cualitativo, desarrollada en dos etapas. La primera consistió en la revisión documental en las fuentes de las dependencias involucradas en la producción de artesanías, y la segunda, visitas de campo. El método de recolección de información primaria se basó en observación no participante y en la implementación de entrevistas no estructuradas, las cuales se aplicaron a 30 personas con un muestreo probabilístico a conveniencia combinado con la técnica “bola de nieve”.

Las entrevistas semiestructuradas se aplicaron a los artesanos de carrizo con reconocimiento en su actividad principal por transmitir conocimientos tradicionales a las nuevas generaciones (Hernández *et al.*, 2010). La medición de los indicadores incluyó aspectos socioeconómicos, ingresos por la actividad económica, permanencia en la comunidad, conocimientos tradicionales y estrategias de resiliencia ante el covid-19, con el objetivo de realizar un diagnóstico e identificar las formas de difusión de las prácticas productivas conforme a las instituciones de usos y costumbres de la comunidad.

Resultados

Aspectos socioeconómicos

El 100% (30) de los artesanos entrevistados son originarios de Santa Cruz Papalutla, ubicado en el distrito de Tlacolula, Oaxaca, cuya ocupación principal es la agricultura, y actividad complementaria, la elaboración de artesanías de carrizo.

Respecto de su edad, 37% de los artesanos tiene una edad de 51 a 60 años, 50% entre 61 y 70 años y 13% tiene 71 años y más. El 63% son personas adultas mayores, quienes poseen los conocimientos tradicionales, situación que hace que la preservación de la actividad productiva se considere en riesgo.

En relación con el sexo, la muestra se compone de 45% de mujeres y 55% hombres. En cuanto al nivel de escolaridad, 70% sólo cursó la primaria

completa y 22% cuenta con estudios truncos, lo que refleja un bajo nivel de escolaridad de los pobladores de la localidad. Sin embargo, esta situación no ha limitado la reproducción de los conocimientos tradicionales, ya que su trasmisión se realiza de forma oral y mediante la práctica (aprender haciendo) y se comunica de forma intergeneracional (de padres a hijos o de abuelos a nietos) y a través del intercambio de saberes con otros productores cuando acuden a ferias y exposiciones.

En el análisis de la actividad económica se encontró que 100% de los encuestados se dedica a la producción de artesanías de carrizo, elaborando, principalmente, canastas, lámparas, platos, popotes y adornos de mesa. Esta actividad económica les permite realizar otras actividades, dentro de su comunidad, como la agricultura, la elaboración de comida tradicional, música de viento, por mencionar las más importantes, los cuales les permiten generar ingresos adicionales para el sustento familiar.

Ingresos derivados de la actividad económica

El 11% de los encuestados tiene un ingreso menor a \$1 000 al mes; 78% un ingreso menor a \$5 000 y el restante 11% entre \$5 000 y \$10 000. El ingreso promedio mensual es menor a \$5 000. El 64% señaló que produce sus alimentos en su localidad, lo que le ha permitido amortiguar el gasto del hogar y contribuir a la soberanía alimentaria de la comunidad; el 36% restante no los produce, sino que los adquiere (de éstos, el 27% realiza sus compras en la tienda local y el 9% los adquiere en una tienda o un mercado regional). El 62% produce sus alimentos de forma familiar y el 38% lo hace de forma independiente, es decir, sin apoyo de integrantes de la familia.

Permanencia en la comunidad

El número de integrantes que participan en la producción familiar de artesanías ha disminuido en los últimos años, sobre todo debido a que los integrantes del hogar se dedican a actividades de servicios o trabajan como empleados, obreros o profesionistas, fuera del municipio, principalmente

en la ciudad de Oaxaca, en la Ciudad de México o, incluso, en otras ciudades de Estados Unidos, adonde van a buscar para sus familias mejores condiciones de vida.

Conocimientos tradicionales

El 91% de los artesanos señaló que su bienestar depende de los recursos que le otorga la naturaleza. Se observó una relación positiva entre el hombre y la naturaleza, ligada a la relación que plantea Boege (2008) respecto del enfoque biocultural y el desarrollo sustentable de las comunidades indígenas en México. Los artesanos señalaron como beneficios personales tres aspectos principales que obtienen de la preservación de los conocimientos tradicionales en sus actividades socioproductivas:

1. En las comunidades existen limitadas fuentes de empleo y la producción de artesanías de carrizo les ha permitido tener un ingreso adicional para el gasto del día y para realizar sus fiestas en la comunidad.
2. La continuidad en la elaboración de artesanías representa una oportunidad para mejorar y conocer otros lugares, con la participación en ferias y exposiciones, a las que acuden para comercializar sus productos.
3. La preservación de los conocimientos tradicionales en sus actividades socioproductivas les ha permitido generar beneficios a nivel comunitario, entre los cuales destacan los siguientes:
 - i. El involucramiento a temprana edad de los jóvenes que les permite la adquisición de conocimientos desde la recolección de materia prima y la elaboración de canastas hasta la diversificación de productos.
 - ii. La elaboración de artesanías y el cultivo del carrizo fomentan la *Guelaguetza*¹ en los habitantes de la comunidad.

¹ *Guelaguetza*, palabra zapoteca que significa "ofrenda o regalo". En un sentido más amplio, es un acto generoso que consiste en dar, cuando surge la oportunidad, para corresponder por un favor recibido.

- iii.* La transmisión del conocimiento propicia la convivencia, lo que permite una mayor cohesión familiar y comunitaria.
- iv.* La preservación económica, ya que genera trabajo en la comunidad (aunque el precio es bajo), permite cubrir los gastos de educación de los hijos, satisfacer necesidades básicas familiares y contribuir al desarrollo local.

Las estrategias de resiliencia que consideran haber desarrollado los artesanos para la conservación del conocimiento tradicional son las siguientes:

- La conservación de los recursos naturales para proveer materia prima (carrizo) y asegurar la continuidad de la actividad productiva.
- La preservación de la cultura de las artesanías, entre los jóvenes, para propiciar el interés en la elaboración de productos tradicionales, y, con procesos de innovación, diversificar sus productos para satisfacer las nuevas necesidades del mercado actual.
- La enseñanza a los hijos y a los nietos de la lengua materna, los oficios, la cultura y la cocina tradicional, para preservar el patrimonio cultural.
- La elaboración de las artesanías a nivel familiar, la cual genera la unidad colectiva y familiar, preservando la cultura y la riqueza natural.

Riesgo de pérdida de los conocimientos tradicionales

El 62% de los entrevistados señala que a los jóvenes no les interesa aprender los procesos de elaboración de artesanías y que sólo a 23% le interesa adquirir ese conocimiento. Se observa que existe una pérdida de interés, por los saberes locales, sobre todo en las nuevas generaciones, debido a la transculturización, que es producto de los altos índices de emigración.

Los conocimientos tradicionales con mayor riesgo de pérdida son:

- El uso y la preservación de plantas silvestres que son utilizadas como materia prima.

- El proceso de elaboración de artesanías de carrizo, por el escaso interés que muestran las nuevas generaciones hacia esta actividad.
- Hábitos, usos y costumbres sobre rituales en el ciclo agrícola.

Estrategias de resiliencia ante el covid-19

Ante la crisis por el covid-19, los artesanos respondieron a través de estrategias de resiliencia con el objetivo de hacer frente a las amenazas, prepararse, adaptarse y recuperarse (Sanchís y Poler, 2020). A continuación se describen algunas problemáticas a las que se enfrentaron y las estrategias con las que respondieron a la contingencia:

I. *Problemáticas presentadas ante la contingencia por el covid-19*

- a) Disminución del consumo, porque no permitían que la gente se reuniera y permanecieron cerrados los grandes centros comerciales.
- b) Aumento de precios y disminución de ingresos.
- c) Cierre de negocios de forma temporal, debido a las personas infectadas por el covid-19.
- d) Escasez de alimentos, sobre todo maíz y productos básicos.

II. *Estrategias de resiliencia ante el covid-19²*

- a) Algunos productores aumentaron sus ventas, porque los habitantes les compraban directamente en la localidad.
- b) Ventas con entrega a domicilio y promoción vía redes sociales.
- c) Implementación de medidas sanitarias, uso de cubrebocas y desinfección de materiales y herramientas de trabajo.
- d) Recepción de recursos económicos provenientes del gobierno federal, por conducto de los programas sociales, principalmente de la Secretaría de Bienestar, así como de apoyos otorgados por el municipio para la integración de despensas familiares, y de las redes de apoyo de migrantes en Estados Unidos, para cubrir sus necesidades básicas.

² Esta información fue obtenida de las entrevistas aplicadas a los artesanos del municipio de Santa Cruz Papalutla.

Sin embargo, también hubo aspectos positivos derivados de la crisis por el covid-19: las familias se volvieron más unidas debido a la enfermedad, reevaluaron sus hábitos alimenticios y fomentaron la producción de alimentos, con el objetivo de vender sus productos con normalidad después de la pandemia.

Discusión

Existe una relación positiva entre patrimonio biocultural, conocimiento tradicional y resiliencia, que se ve reflejada en la mejora de la economía local, en reproducción de la cultura, así como en el fomento de lazos de cooperación entre los artesanos. La mejora en la economía local permite generar fuentes de empleo y representa una oportunidad para incrementar el ingreso familiar. La reproducción de la cultura permite que permanezca la actividad de elaboración de artesanías de carrizo, así como la existencia suficiente de materia prima para evitar la pérdida del conocimiento tradicional. Y, finalmente, la convivencia familiar y comunitaria permite mayor cohesión social.

En épocas de crisis, los artesanos contaron con diversas estrategias de resiliencia que les permitieron subsistir y fortalecerse, como las ventas en redes sociales, la protección sanitaria, los apoyos de actores clave como gobierno y migrantes, y la construcción de redes locales. La resiliencia hace evidente la importancia de reproducir y adaptar conocimientos y prácticas productivas locales frente a la adversidad, teniendo como base los conocimientos tradicionales, el reconocimiento y la valoración del territorio y el fortalecimiento de las estructuras locales (familia, comunidad, estado).

Sin embargo, la percepción en cuanto a los conocimientos tradicionales es que éstos se están perdiendo, ya que existe poco interés por parte de los jóvenes para continuar reproduciéndolos, a pesar de que representan los saberes de sus ancestros y constituyen una oportunidad para generar ingresos adicionales, manteniendo la unidad familiar y protegiendo la identidad cultural.

Conclusiones

Los conocimientos tradicionales se encuentran asociados al uso de los recursos naturales, porque brindan armonía, seguridad, certeza y confianza, mientras que alejarse de la comunidad transmite incertidumbre.

La transmisión del conocimiento mantiene la convivencia familiar, lo que permite mayor cohesión familiar y comunitaria. La conservación de los conocimientos tradicionales ayuda a la subsistencia económica, ya que genera trabajo en la comunidad y permite cubrir los gastos de educación de los hijos, satisfacer necesidades básicas familiares y contribuir al desarrollo local.

Para la conservación de los conocimientos tradicionales se recomienda:

- Realizar talleres de capacitación dirigidos a los jóvenes que permitan valorar los conocimientos tradicionales y que visibilicen su cosmovisión.
- Generar una cultura de preservación de los recursos naturales, con el fin de mantener la existencia de materia prima para la elaboración de artesanías de carrizo y evitar la pérdida del conocimiento tradicional.
- Fomentar la organización de los artesanos de carrizo para mejorar sus ventas y su difusión.
- Reconocer la actividad artesanal, no sólo como patrimonio biocultural, sino también como actividad económica generadora de ingresos, para el desarrollo de la familia y de la comunidad.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a los entrevistados por las facilidades que nos brindaron y por compartir sus experiencias y su tiempo, y al Instituto Politécnico Nacional, por el financiamiento a este estudio a través del proyecto SIP20230178, así como al CONAHCYT por las becas de estancia posdoctoral y de estudios de maestría.

Referencias

- Boege, E. (2003). *Protegiendo lo nuestro. Manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina*. Semarnat/PNUMA/FILAC.
- Duquesnoy, M. (2014). Resiliencia cultural comunitaria como quehacer político femenino de las mujeres williche del Chaurakawin (región de los Lagos, Chile). *Cuicuilco*, 21(59), p. 72. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16592014000100004.
- Enríquez Valencia, R., Bernardino Martínez, R. C., y Miguel Velasco, A. E. (2019). La cestería de carrizo en dos comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca. En R. Enríquez Valencia, A. E. Miguel Velasco y R. Camacho Lomelí (coords.), *Las fronteras de la tradición: mercados y mercancías en Valles Centrales de Oaxaca* (pp. 117-155). TECNM/ITOAX/Iteca.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Santa Cruz Papalutla, Oaxaca (clave geoestadística 20380). INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20380.pdf.
- (2020). *Censos y conteos de población y vivienda*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=0700_00200380#collapse-Resumen.
- Muellbauer, J. (2020, 11 de abril). The Coronavirus Pandemic and US Consumption. *Vox. EU*. <https://cepr.org/voxeu/columns/coronavirus-pandemic-and-us-consumption>
- Patrick-Encina, G., y Bastida-Muñoz, M. C. (2010). El resguardo colectivo del patrimonio biocultural como garantía de la resiliencia de los sistemas socioecológicos de los pueblos en el Estado de México. *Ra Ximhai*, 6(3), pp. 373-378.
- Romero Moragas, C. (2017). Patrimonio y resiliencia. *Revista PH* (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico), (91), pp. 132-133. <https://doi.org/10.33349/2017.0.3870>.
- Ruiz Barajas, C. A. (2018). Patrimonio, paisaje y resiliencia: un encuentro en lo colectivo. *Millcayac: Revista Digital de Ciencias Sociales*, 5(9), pp. 321-334. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/millca-digital/article/view/1365>.
- Salanova Soria, M. (2009, marzo). Organizaciones saludables, organizaciones resilientes. *Gestión Práctica de Riesgos Laborales*, (58), 18-23. http://hdl.handle.net/102_34/73232.
- Sanchís Gisbert, R., y Poler Escoto, R. (2020, diciembre). Resiliencia empresarial en época de pandemia. *Boletín Estudios Económicos*, 75(231), pp. 501-520.
- Santana, M. E. (2015, junio-noviembre). El buen vivir, miradas desde dentro. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 10(19), 171-198. <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2015.19.50>.

V. Contribución de la fertilización orgánica y mixta sobre las propiedades físicas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del frijol pinto

LAURA GABRIELA ESPINOSA-ALONSO*

SERGIO MEDINA-GODOY**

MARIBEL VALDEZ-MORALES***

MARÍA MYRNA SOLÍS-OBA****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.05>

Resumen

Introducción: La fertilización es crucial para la producción alimentaria, en términos de valor nutricional y ambiental. Aunque la fertilización orgánica, o biofertilización, mejora la composición de nutrientes, su efecto sobre el contenido de compuestos bioactivos y antioxidantes de los alimentos es poco explorado. *Objetivo:* Analizar la contribución de la fertilización orgánica y mixta (orgánica-mineral) sobre la calidad nutracéutica del frijol pinto San Rafael y Libertad. *Métodos:* En primavera-verano de 2021 se cultivó frijol en macetas de 4 kg en invernadero. Se aplicaron distintas esquemas de fertilización: sin fertilización (SF); mineral (FM) con urea/super fosfato triple (1.212/1.625 g/maceta); orgánica (ORG) a base de macroalgas (0.06 ml Algaenzims/maceta), y mixta orgánica-mineral (MIX). Se aplicó el

* Doctora en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas y profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Sinaloa, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4926-9268>; Autora de correspondencia: lespinosaa@ipn.mx

** Doctor en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas y Alimentos y profesor-investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Sinaloa, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4718-2169>

*** Doctora y profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Sinaloa, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6812-5905>

**** Doctora en Ciencias en Biotecnología y profesora-investigadora del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Tlaxcala, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9347-9599>

análisis de componentes principales (PCA) a 19 características de semillas, contenido de compuestos fenólicos (CCF), capacidad antioxidante (CA) y actividad antirradical (% ARA), utilizando DPPH y ABTS. *Resultados y conclusiones:* Los tratamientos de fertilización no afectaron el color de las semillas pero sí tuvieron un impacto considerable en la calidad nutracéutica y en el tamaño del grano de frijol de manera diferencial, en función de la variedad. El PCA identificó tres componentes: el primero, relacionado con el potencial nutracéutico, influenciado por compuestos fenólicos y capacidad antioxidante-DPPH; el segundo, ligado al rendimiento de compuestos fenólicos y grupos de fenoles, y el tercero, asociado al tamaño del grano y a la capacidad antioxidante-ABTS. Se favorece la calidad nutracéutica con fertilización orgánica, pero con granos más pequeños; la fertilización mixta equilibra calidad y tamaño; la fertilización mineral propicia granos más grandes, con menor calidad nutracéutica en pinto San Rafael. La fertilización mineral mejora la calidad nutracéutica, mientras que la orgánica ofrece un equilibrio entre calidad y tamaño, siendo la opción preferida para pinto Libertad.

Palabras clave: *biofertilización, frijol pinto, nutracéuticos, Phaseolus vulgaris, sustentabilidad.*

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) pertenece al grupo de las leguminosas, reconocidas por la FAO como semillas nutritivas esenciales para un futuro sostenible. A nivel mundial, el frijol representa 50% del consumo de leguminosas, siendo la más importante como fuente de alimentación humana, con una alta disponibilidad y de bajo costo, factores por los que se ha integrado a la canasta básica en distintas regiones, especialmente en Latinoamérica y África. Este alimento desempeña un papel vital en la nutrición y, por ende, en la seguridad alimentaria de una considerable parte de la población mundial, ya que constituye una fuente primordial de proteína vegetal. Su valor nutricional no se limita al aporte proteico, ya que también contiene carbohidratos complejos como fibra soluble e insoluble, por lo que es considerado un alimento de bajo índice glicémico, en comparación con

otros almidones, y su consumo puede ayudar a controlar los niveles de glucosa posprandial; además contiene vitaminas del complejo B, principalmente ácido fólico y minerales, destacando hierro, calcio y zinc (FAO, 2016). Adicionalmente, ha sido ampliamente reconocido su valor nutracéutico pues contiene compuestos bioactivos con beneficios que trascienden más allá de la nutrición. Este reconocimiento se basa en su rico contenido de compuestos fenólicos, en el que destacan flavonoides, antocianinas, flavonoles y taninos condensados, inhibidores de glicosidasas, amilasas y proteasas, lectinas y fitatos. Aquí hay que subrayar la fibra dietética y su función prebiótica derivada de componentes como el almidón resistente y los fructooligosacáridos, que incluyen la estaquiosa y la rafinosa (Cámara *et al.*, 2013). La sinergia entre estos elementos proporciona una serie de propiedades de gran relevancia, entre ellas, sus capacidades antioxidantes y antiinflamatorias, así como su potencial anticancerígeno. Además, se ha observado que estos componentes contribuyen a la reducción del nivel de colesterol y lipoproteínas, desempeñando un papel protector en relación con las enfermedades cardiovasculares. También se ha señalado su efecto hipoglucemiante, el cual puede ser de utilidad en la prevención y el manejo de la diabetes tipo 2. Es importante mencionar que estos beneficios se ven complementados con mejoras en la salud gastrointestinal (Gutiérrez-Uribe *et al.*, 2005; Finley *et al.*, 2007; Reynoso-Camacho *et al.*, 2007; Oomah *et al.*, 2010; Campos-Vega *et al.*, 2010; Moreno-Jiménez *et al.*, 2015 y Suárez-Martínez *et al.*, 2016).

Respecto de su relevancia económica, en 2021 la producción global de frijoles alcanzó un total de 27 715 023.7 toneladas. México contribuyó con 3.8% de esta producción mundial, equivalente a 1 288 806.47 toneladas. Esto posicionó a nuestro país como el séptimo productor a nivel mundial, con un valor económico de 1 011 955 000 dólares. Es importante destacar que el mercado estadounidense es el principal comprador de frijoles mexicanos, siendo la variedad pinto la más solicitada (FAOSTAT, 2021; SIAP, 2022). La elección de colores está estrechamente vinculada con las diferencias regionales. En el norte del país, prevalece una marcada preferencia por el frijol pinto, mientras que en el noroeste se inclinan por los tonos amarillos. En la región central sobresalen los frijoles de colores claros y rosados, mientras que en el sur y en el sureste, los frijoles negros son altamente demandados

(Magaña *et al.*, 2015). Además de la variación en el color, el tamaño del grano es otro factor fundamental que determina la calidad, la cual se establece según el peso de 100 semillas expresado en gramos. De acuerdo con este criterio, se distinguen tres categorías: pequeñas con menos de 25 g por 100 semillas, medianas entre 25 y 40 g por 100 semillas y grandes con más de 40 g por 100 semillas (Ulloa *et al.*, 2011). Los frijoles de mayor tamaño tienen un valor añadido en términos de precio por lo que son altamente preferidos por comerciantes y empaques. Un aspecto comercial importante es que el frijol constituye una harina libre de gluten y puede ser empleado como un sustituto del trigo en diversas preparaciones (Cámara *et al.*, 2013).

Las variedades de frijol pinto han sido altamente aceptadas por los consumidores en el Altiplano del centro-norte del país. Su demanda anual alcanza 350 000 toneladas, de las cuales Zacatecas, Durango, Chihuahua y San Luis Potosí son los principales productores, seguidos por Coahuila, Nuevo León, Sonora y Guanajuato (Acosta-Gallegos *et al.*, 2016).

Pinto San Rafael es un grano de tamaño medio (38 gramos, peso de 100 semillas), de forma oval, color crema con manchas café claro y testa con características de oscurecimiento lento, así como con capacidad de absorción de agua superior a 100%, durante 16 horas de remojo, lo que sugiere que es adecuado para la cocción y para el proceso de enlatado. El grano de pinto Libertad es color crema, con manchas café e hilio amarillo, con un rango de 33 a 49 g por 100 semillas y peso promedio de 38 g, considerado de tamaño mediano a grande, con forma elíptica en la sección transversal y longitudinal (Rosales, Ibarra *et al.*, 2012).

En el aspecto nutrimental, una porción de 100 g de frijol pinto cocido proporciona aproximadamente entre 8 y 10% de la ingesta diaria recomendada de proteínas, así como alrededor de 11 y 4% de los requerimientos diarios de hierro y calcio, en una dieta basada en 2 000 calorías. En relación con las vitaminas se ha observado que 100 gramos de frijol cocido contribuyen con casi 30% de la cantidad requerida de vitamina B6 (piridoxina) y vitamina B9 (ácido fólico). Además, aportan 25% de la cantidad necesaria de vitamina B1 (tiamina) y, en menor medida, de vitamina A y vitamina C, con un rango de 3 a 8% (Cámara *et al.*, 2013). De acuerdo con los compuestos fenólicos presentes en el frijol pinto de las variedades genéricas ameri-

canas Buster, Maverick y Othello, los flavonoides kaempferol y kaempferol 3-O-glucósido han sido identificados como los principales, mientras que *p*-coumárico y ferúlico son los ácidos fenólicos esenciales, además de los ácidos sinápico y gálico, los cuales se concentran de manera preponderante en la cascarilla del frijol (Luthria y Pastor-Corrales, 2006; Lin *et al.*, 2008). Por otra parte, Giusti (2017) reporta la existencia de un contenido significativo de catequina, epicatequina y ácido clorogénico en el frijol pinto.

Se sabe que el genotipo, el ambiente, la maduración en el tiempo de la cosecha, el peso y el tamaño del grano, así como el tiempo de almacenamiento, son factores que influyen en el contenido de los compuestos fenólicos presentes en el grano de frijol; sin embargo, poco se ha investigado sobre la contribución de la fertilización en este contenido de los compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante.

Se ha demostrado que los biofertilizantes contribuyen a reducir la dependencia de los agroquímicos, los cuales ejercen un impacto perjudicial en los ecosistemas y en la salud humana. Además, en años recientes se le ha dado mayor importancia a la utilización de bioestimulantes, lo que ha dado como resultado mejora de la calidad y el rendimiento de los cultivos. Estos productos no sólo son amigables con el medio ambiente, sino que también pueden contener diversos componentes, como aminoácidos libres, extractos de frutas, microorganismos, sustancias húmicas, quitosano, micro y macroalgas marinas, entre otras sustancias biológicamente activas. Se ha constatado que las algas marinas albergan hormonas promotoras del crecimiento y nutrientes como las vitaminas y los aminoácidos. Estos componentes se han utilizado para obtener extractos que mejoran el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Shukla *et al.*, 2018). Esos extractos pueden aumentar los niveles de clorofila en las hojas, así como fomentar la ruptura del almidón mediante amilasas, liberando azúcares en los tejidos de las plantas. Además de su influencia en la fotosíntesis y en el metabolismo de carbohidratos, estos extractos también estimulan el crecimiento y la resistencia al estrés ambiental, disminuyendo la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), en respuesta al estrés por sequía, que pueden afectar vías bioquímicas y fisiológicas normales (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). En cuanto al cultivo de frijol, se ha investigado el impacto de la fertilización orgánica e inorgánica de su desarrollo fisiológico y de su rendimiento. Aunque

gran parte de estos estudios ha dirigido su atención en las características agronómicas y de rendimiento, hay pocas investigaciones que aborden las propiedades nutricionales y, en menor medida, las nutracéuticas, del grano de frijol. Ortiz-Sánchez *et al.* (2023) evaluó el rendimiento y el valor nutricional del frijol Rarámuri, cultivado en Durango. En este estudio se empleó una estrategia de fertilización orgánica con té de estiércol, lodos residuales, supermagro y fertilizante orgánico comercial. Los resultados demostraron que el control sin fertilización presentó menor rendimiento en las características agronómicas, mientras que el análisis proximal del valor nutricional no mostró diferencias significativas, confirmando que la fertilización orgánica puede incrementar la productividad del frijol sin comprometer su calidad nutricional y como una alternativa sostenible. En cuanto al uso de algas marinas, García Bertoldo *et al.* (2015) evaluaron el efecto de la combinación de inoculantes para frijol, extractos de algas marinas y complemento con molibdeno y polvo de roca, como fuente de fertilizante mineral, en sustitución de la urea. Los resultados indicaron que se obtiene el mismo rendimiento del cultivo convencional a menor costo. Por otro lado, Kocira, Kocira *et al.* (2018) investigaron el impacto del extracto de kelp (*Ecklonia maxima*) en el rendimiento y en el contenido de minerales y proteínas en dos cultivares de frijol de origen polaco. Los resultados demostraron que el efecto fue dependiente de la variedad de frijol, así como de la frecuencia y la concentración de la aplicación, lo que sugiere su aplicación para mejorar la calidad nutricional y el rendimiento del frijol. Asimismo, en 2018 esos autores informaron sobre las propiedades nutricionales y nutracéuticas del frijol, revelando que no hay un impacto a nivel nutricional, pero sí un aumento de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas totales, así como de la capacidad antioxidante del grano de frijol con la incorporación de extracto de algas marinas (Kocira, Świeca *et al.* 2018). Ziaei y Pazoki (2022) demostraron que la aplicación de extractos de algas mitiga el estrés por sequía y mejora los atributos bioquímicos que contribuyen a un incremento en el rendimiento del grano. En otro enfoque, la utilización de fertilización mixta se ha presentado como una alternativa para disminuir el impacto ambiental asociado al exceso de fertilización mineral. Sachan y Krishna (2020) evaluaron la combinación de fertilizantes orgánicos (estiércol de aves, 5 T/ha) e inorgánicos (NPK 100%, 200 kg/ha) en el crecimiento y el rendi-

miento del frijol francés cultivado en Fiji y concluyeron que esta combinación resultó más efectiva que su uso individual. Dicha estrategia de fertilización mixta fue evaluada por ShahirQadiri *et al.* (2023), quienes obtuvieron resultados similares al combinar fertilizante inorgánico NPK (15:15:15:) con estiércol de gallina (150 kg/ha) en el cultivo de frijol, en Badakhshan, Afganistán. Adicionalmente, Mohamed *et al.* (2023) exploraron la influencia de la fertilización mixta, combinando compost orgánico y fertilizante de nitrógeno mineral, en conjunto con ácido salicílico (SA), en aspersión foliar, como bioestimulante, en cuatro diferentes niveles de concentración, sobre el crecimiento vegetativo, el rendimiento y la calidad de las semillas de frijol Nebraska, donde el tratamiento mixto orgánico-mineral 25-75% y 150 ppm de SA podrían mejorar el crecimiento, la productividad y la calidad de las plantas de frijol común.

Con el propósito de mejorar las prácticas agrícolas en uno de los cultivos de máxima trascendencia nacional y lograr, en cierta medida, la disminución de la dependencia de la fertilización mineral, al mismo tiempo que se contribuye con evidencia que demuestre el impacto en las propiedades nutraceuticas del cultivo de frijol, este estudio se enfoca en evaluar la contribución de la fertilización orgánica y mixta. Dicha evaluación comprende las propiedades físicas de las semillas, incluyendo su color y su tamaño, así como los compuestos fenólicos totales y por grupos, en extractos crudos de harina de grano de frijol, además de su capacidad antioxidante. El análisis se centró en dos variedades mexicanas: pinto San Rafael y pinto Libertad, las cuales se cultivaron en un entorno de invernadero y se sometieron a diferentes tratamientos de fertilización: 1) control sin fertilización; 2) 100% mineral, basada en urea/superfosfato triple; 3) 100% orgánica, basada en un producto comercial de algas marinas; 4) una combinación orgánico-mineral al 50-50 por ciento.

Materiales y métodos

Pinto San Rafael y pinto Libertad fueron las dos variedades mejoradas cultivadas en invernadero en macetas de 4 kg, con suelo agrícola obtenido en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada CIBA-IPN ubicado en el

municipio de Tepetitla, Tlaxcala (2 260 metros sobre el nivel del mar), mismo que fue enriquecido con 7% de vermicomposta comercial, con una densidad de siembra de 60 000 plantas por hectárea. Se hizo el trasplante de una plántula por maceta cuando la radícula estaba totalmente expuesta y se cultivó durante el periodo primavera-verano de 2021. Se aplicaron distintos esquemas de fertilización: sin fertilización (SF); mineral (FM) con urea/superfosfato triple (1.212/1.625 g/maceta); orgánica (ORG) a base de macroalgas (0.1 ml Algaenzims/maceta,) y mixta orgánica-mineral (MIX) con la combinación de urea/superfosfato triple (1.212/1.625 g) y 0.1 ml Algaenzims por maceta. La fertilización mineral se realizó en sólido, con riego para solubilizar, de acuerdo con Flores-Gallardo *et al.* (2018); mientras que para la aplicación de Algaenzims se consideró un litro por hectárea como el 100%, de acuerdo con la ficha técnica (<http://www.palaubioquim.com.mx/algaenzims>), y su aplicación fue foliar. Se mantuvo el riego de las macetas tres veces por semana por las mañanas para minimizar la evapotranspiración. Una vez completado el ciclo de cultivo, se obtuvo la semilla seca y se almacenó a 4 °C hasta su utilización. Se analizaron las características físicas de la semilla y posteriormente fueron trituradas en licuadora y después en molino de café, hasta obtener una harina homogénea.

Características físicas de la semilla. El color se analizó en el grano entero empleando un colorímetro Chroma meter CR-400 (Konica Minolta) a través de la escala CIELab* (L^* , a^* , b^* , ΔE , C^* y hue) y el mosaico de referencia blanco ($Y = 87.1$, $x = 0.3147$, $y = 0.3209$). El peso de 100 semillas fue registrado empleando una balanza analítica Metler Toledo AB204-S/FACT. La densidad aparente de la semilla relaciona el peso aparente y el volumen a granel que proporciona la magnitud del tamaño del grano. Se colocó el grano de frijol en una probeta de 100 ml y se determinó su peso en gramos, esto es, g/ml.

Compuestos fenólicos de extractos de frijol

A partir de 500 mg de harina de frijol se obtuvo el extracto de compuestos fenólicos. Una vez depositados en un tubo de plástico de 15 ml, se agregaron 8 ml de etanol (ETOH) al 80%. La mezcla se homogeniza con vortex

por 30 segundos y se sónica por 15 minutos. Posteriormente, los extractos son depositados horizontalmente en un agitador con movimiento orbital (Shaker RK-30, Premiere), a temperatura ambiente, a 100 rpm durante dos horas. Posteriormente se obtiene el sobrenadante, una vez centrifugado por 20 minutos a 5 000 rpm (Centrífuga Hermle 2366) y el residuo es reextraído dos veces más, repitiendo el proceso. Los extractos obtenidos son colectados en un matraz bola para eliminar el solvente, mediante un rotaevaporador (Yamato, RE300), a 45 °C. Una vez concentrados los extractos, se recuperan alrededor de 2 ml en un tubo de plástico de 15 ml, previamente seco y a peso constante, y se adiciona 1 ml de agua destilada al matraz bola para lavar el extracto y recuperarlo; se repite el proceso dos veces más. Finalmente, se agrega agua destilada al extracto en proporción 3:1 para garantizar que sea congelado; posteriormente se liofiliza para obtener el extracto seco, mismo que se pesa. La solución de trabajo para los análisis posteriores se prepara a partir de 20 mg del extracto seco, disuelto con 2 ml de ETOH al 80% y se agita en vortex hasta su completa disolución.

Compuestos fenólicos totales por Folin-Ciocalteu

El análisis se realizó con el método adaptado a microplaca, propuesto por Swain y Hills (1959). Se mezclan 140 µl de agua destilada, 10 µl del extracto a evaluar (10 mg/ml en ETOH 80%), del blanco o del estándar, y 10 µl del reactivo de Folin-Ciocalteu recién preparado (1:1 v/v en agua). Una vez mezclados se incuban por durante tres minutos en la oscuridad a temperatura ambiente. Finalmente se adicionan 40 µl de NaCO₃ 7.5% (peso/volumen) y la mezcla se incuba en la oscuridad por 15 min a 45 °C. Se registra la absorbancia a 760 nm y se emplean (+)-catequina (0-300 µg/ml) y ácido gálico (0-200 µg/ml) como estándares, expresando los resultados como equivalentes de mg equivalentes de (+)-catequina CAE y mg equivalentes de ácido gálico GAE por gramo de harina de frijol.

Compuestos fenólicos por grupos/ μ v

El análisis se realizó de acuerdo con el método de Oomah *et al.* (2005). Se mezclan 20 μ l del extracto de los compuestos fenólicos a evaluar (10 mg/mL en ETOH al 80%), con 230 μ l de una solución de ETOH al 80% acidificada al 2% con HCl, en una microplaca para uv de 96 pozos. Se preparan curvas estándar de (+)-catequina (0-100 mg/l), ácido cafeico (0-20 mg/l), quercetina (0-30 mg/l) y rutina (0-10 mg/l). La absorbancia de los extractos fue monitoreada a 280, 320 y 360 nm para los fenólicos totales, ésteres tartáricos y flavonoles totales, después de agitar durante dos minutos en un espectrofotómetro (Multiskan Go, ThermoScientific). Los resultados son expresados en miligramos equivalentes de (+)-catequina (mgECAT), mg equivalentes de ácido cafeico (mgECAf) y mg equivalentes de quercetina (mgEQUE) por gramo de harina de frijol. Para la cuantificación de flavonoides se emplea una solución al 1% de 2-aminoetil éster de difenil borinato, diluido con ETOH 80%. La reacción se lleva a cabo con 50 μ l ETOH 80% para el blanco, 180 μ l de agua desionizada y 20 μ l de solución al 1% de 2-aminoetil difenilborinato. Y para la muestra, se adicionan 100 μ l de extracto de compuestos fenólicos, 130 μ l de agua desionizada y 20 μ l de solución al 1% de 2-aminoetil difenilborinato. Se mezcla y se lee la placa inmediatamente después a 404 nm. Los resultados son expresados en miligramos equivalentes de rutina (mgERUT) por gramo de muestra.

Capacidad antioxidante de extractos de frijol

La capacidad antioxidante de los extractos de frijol se definió de acuerdo con el método de Cardador-Martínez *et al.* (2006). El radical DPPH• 150 μ M en metanol al 80% se prepara el día del análisis. Se colocan 20 μ l de la muestra, del blanco y del estándar de Trolox (0-500 μ g/ml), en la microplaca y 200 μ l de DPPH, registrando la absorbancia después de 30, 60,75 y 90 minutos, a 515 nm. Los resultados se expresan como μ mol Trolox equivalentes (TE)/g de muestra y en porcentaje de actividad antirradical: %ARA = 100* (1- Abs muestra/Abs blanco).

Además, se evaluó la capacidad antioxidante por ABTS de acuerdo con el método de Re *et al.* (1999). Se preparó el radical ABTS•, 2,2-azinobis-(ácido 3-etilbenzotiazolona-6-sulfónico) a partir de 96 mg de ABTS y 16.55 mg de persulfato de potasio; ambos se añadieron a un matraz volumétrico de 25 ml y se disolvieron con 20 ml de agua destilada. Se sonicó durante 10 minutos y aforó. A partir de éste se prepara la solución de trabajo de ABTS•; a partir de 0.5 ml de la solución stock de ABTS• en 25 ml de agua destilada. Y se ajusta la lectura a 0.7 de absorbancia a $\lambda = 735$ nm. Se prepara la placa con 20 μ l de la muestra, del blanco y del estándar de Trolox (0-500 μ g/ml), y 200 μ l de ABTS•, registrando la absorbancia a 735 nm. Los resultados se expresaron en μ mol Trolox equivalentes (TE)/g de muestra y en porcentaje de actividad antirradical: %ARA = $100^* (1 - \text{Abs muestra}/\text{Abs blanco})$.

Análisis estadístico

Los análisis fueron realizados por triplicado y se presenta el promedio de las réplicas \pm desviación estándar. Los análisis de varianza se realizaron por medio de modelos lineales (GLM), comparación de medias por Duncan, correlación de Pearson, para cada variedad, un análisis de componentes principales PCA y un análisis de agrupamiento jerárquico de enlace completo con la distancia euclidiana como medida de similitud, para ambas variedades, con Statistical Analysis System, SAS 9.0.

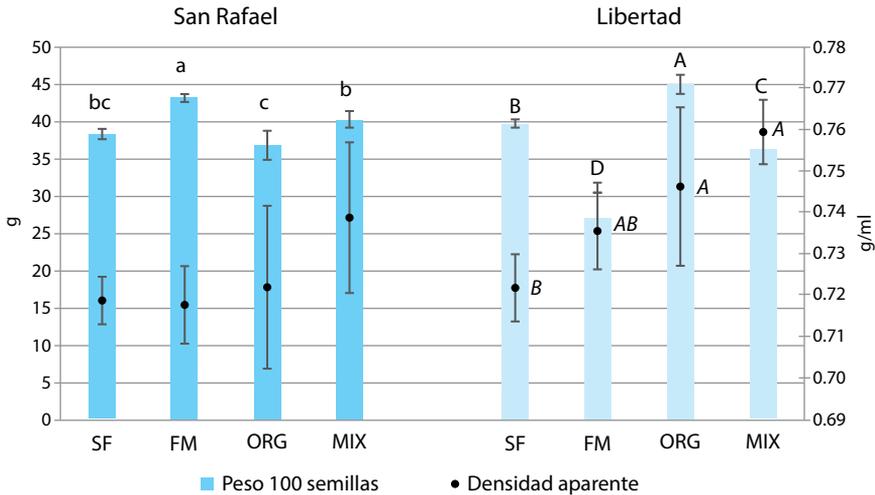
Resultados

Propiedades físicas del grano de frijol

De acuerdo con el peso de 100 semillas de la variedad San Rafael, los valores oscilaron entre 36.82 y 43.16 g. Se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos: FM > MIX > SF > ORG. Por otro lado, la densidad aparente mostró una mayor uniformidad, variando de 0.72 a 0.74 g/ml. Por lo que se observa, estos valores no muestran diferencias significativas. En contraste, el peso de 100 semillas osciló entre 27.06 y

44.99 g para la variedad Libertad, presentando diferencias significativas entre los tratamientos: ORG > SF > MIX > FM. Estas diferencias también se reflejaron en la densidad aparente, que se situaron en un rango de 0.72 a 0.76 g/ml, como se ilustra en la figura 1.

Figura 1. Tamaño del grano de frijol pinto Libertad, expresado en peso de 100 semillas y densidad aparente



Notas: promedio \pm desviación estándar (n = 3). Distintas letras indican diferencias estadísticas significativas para cada variedad, Anova/Duncan ($p \leq 0.05$).

De acuerdo con la descripción del grano de frijol pinto San Rafael, las semillas constan de un fondo crema con manchas café claro, características distintivas de las variedades pinto. Al analizar los datos de color CIELab* para las semillas de los tratamientos de fertilización, no se encontraron diferencias significativas entre los diversos parámetros. Los valores registrados varían de 65.62 a 68.43 en luminosidad (L), de 1.59 a 2.78 en a^* , que refleja la gama del rojo al verde, y en cuanto a la tonalidad amarilla b^* , los valores fluctuaron entre 15.04 y 16.53. Además, con respecto al mosaico blanco de referencia, la diferencia de color ΔE varió de 26.89 a 28.49, mientras que los valores de saturación o Cromo se encuentran en el rango de 15.17 a 16.61, y los valores de Hue, de 79.76 a 84.43. Estos resultados confirman que el color de las semillas es altamente estable y no se ve afectado por la fertilización empleada, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. *Parámetros CIELab* de color del grano de frijol pinto San Rafael y Libertad, bajo distintos esquemas de fertilización*

	<i>Sin fertilización</i>		<i>Mineral</i>		<i>Orgánica</i>		<i>Mixta</i>	
<i>Pinto San Rafael</i>								
L*	68.12	± 3.21	68.43	± 2.48	68.23	± 1.89	65.62	± 1.26
a*	2.78	± 0.28	2.00	± 0.77	1.59	± 0.56	2.66	± 0.68
b*	15.42	± 0.68	15.44	± 0.91	16.53	± 0.78	15.04	± 0.81
ΔE*	28.44	± 2.82	28.49	± 2.53	27.62	± 1.03	26.89	± 0.28
C*	15.67	± 0.68	15.58	± 0.81	16.61	± 0.74	15.17	± 0.90
h	79.76	± 1.03	82.51	± 3.18	84.43	± 2.12	79.88	± 3.12
<i>Pinto Libertad</i>								
L*	66.65	± 2.69	62.47	± 5.80	66.61	± 2.95	64.36	± 5.15
a*	3.99	± 0.11	3.73	± 0.93	3.84	± 0.18	4.28	± 0.66
b*	14.82	± 0.41	16.33	± 1.10	15.15	± 0.35	15.86	± 2.28
ΔE*	28.05	± 1.97	24.38	± 3.98	27.79	± 1.96	26.00	± 4.62
C*	15.35	± 0.41	16.76	± 1.27	16.20	± 0.68	16.43	± 2.37
H	74.95	± 0.28	76.59	± 3.32	75.76	± 0.86	75.07	± 0.66

Nota: promedio ± desviación estándar (n = 5).

De manera similar, el grano de frijol pinto Libertad también mostró una notable uniformidad en las semillas analizadas. Los valores de luminosidad son muy similares a los del frijol pinto San Rafael, variando entre 62.47 y 66.65. Sin embargo, se observaron valores ligeramente más altos en a* (3.73 a 4.28), una tonalidad amarilla b* similar (14.82 a 16.33), una diferencia de color ΔE de 24.37 a 28.05, un rango de saturación de 15.35 a 16.76 y valores más bajos de Hue, que oscilaron entre 74.94 y 76.58. Estos resultados reafirman la estabilidad del color de las semillas, como se muestra en la tabla 1.

Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de frijol

El rendimiento del extracto seco de compuestos fenólicos obtenidos mediante extractos hidrofílicos con etanol al 80% para la variedad pinto San Rafael osciló entre 182.47 a 200.87 mg/g de harina, que equivale, en promedio, a 19.1%, y es superior en los tratamientos orgánicos y mixto. El valor

de los compuestos fenólicos totales por Folin-Ciocalteu F-C presentó un rango de 0.99 a 1.20 mgEAG/g de harina y 1.07 a 1.30 mgECAT/g de harina, respectivamente; estadísticamente inferior para el tratamiento de fertilización mixta (tabla 2). Adicionalmente, se confirmó la superioridad de la fertilización orgánica, con valores de 22.18 ± 2.41 mg de equivalentes de (+)-catequina (mgECAT)/ g de harina, que representan los fenólicos totales, así como 0.83 ± 0.18 mg de equivalentes de ácido cafeico (mgEAC) por gramo de harina, para los ésteres tartáricos, por encima de los tratamientos alternativos de ausencia de fertilización SF y mixto MIX. Notablemente, la fertilización mineral demostró los valores más bajos, en términos de fenoles totales (15.41 ± 3.54 mgECAT/g de harina) y ésteres tartáricos (0.67 ± 0.12 mgEAC/g de harina). En lo que respecta a los flavonoles y los flavonoides totales, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los diversos tratamientos. Los valores se mantuvieron en un rango constante, entre 0.73 y 0.77 mg de equivalentes de quercetina (mgEQUE), por gramo de muestra, y entre 1.08 y 1.14 mg de equivalentes de rutina (mgERUT)/g de muestra, como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Contenido de compuestos fenólicos totales y por grupo* y capacidad antioxidante de frijol pinto San Rafael

	Pinto San Rafael			
	Sin fertilización	Mineral	Orgánica	Mixta
Rendimiento extracto seco (mg/g harina)	188.27 \pm 2.326 b	182.47 \pm 4.45 b	195.6 \pm 2.42 a	200.87 \pm 7.53
Fenoles totales F-C mg EAG/g harina	1.14 \pm 0.08 a	0.99 \pm 0.13 b	1.16 \pm 0.13 a	1.20 \pm 0.06 a
Fenoles totales F-C mg ECAT/g harina	1.23 \pm 0.09 a	1.07 \pm 0.15 b	1.26 \pm 0.14 a	1.30 \pm 0.07 a
*Fenoles totales mg ECAT/g harina	18.18 \pm 1.88 ab	15.41 \pm 3.54 b	22.18 \pm 2.41 a	19.69 \pm 3.31 ab
*Ésteres tartáricos mgEAC/g harina	0.67 \pm 0.11 b	0.67 \pm 0.12 b	0.83 \pm 0.18 a	0.71 \pm 0.04 b
*Flavonoles mgEQUE/g harina	0.77 \pm 0.10	0.76 \pm 0.08	0.74 \pm 0.06	0.73 \pm 0.21
*Flavonoides mgERUT/g harina	1.14 \pm 0.08	1.08 \pm 0.13	1.09 \pm 0.21	1.13 \pm 0.28
Capacidad antioxidante DPPH μ M ETrolox/100 g harina	397.91 \pm 14.56 a	341.11 \pm 15.87 b	405.43 \pm 20.33 a	351.29 \pm 37.21 b
% ARA DPPH	49.78 \pm 2.11 a	44.19 \pm 2.56 b	48.91 \pm 2.28 a	44.89 \pm 4.96 b
Capacidad antioxidante ABTS μ M ETrolox/100 g harina	104.87 \pm 8.31 a	86.59 \pm 8.36 b	102 \pm 8.83 a	86.91 \pm 1.8 b
% ARA ABTS	25.52 \pm 1.46 a	22.52 \pm 1.85 b	24.21 \pm 1.48 ab	22.16 \pm 3.68 b

Notas: promedio \pm desviación estándar ($n = 3$). Distintas letras indican diferencias estadísticas significativas para cada variedad, Anova/Duncan ($p \leq 0.05$).

La capacidad antioxidante del extracto de los compuestos fenólicos de la variedad pinto San Rafael destacó especialmente en el tratamiento orgánico y en ausencia de fertilización; se obtuvieron valores de 405.43 ± 20.3 y 397.91 ± 14.56 $\mu\text{M ETrolox}/100$ g de harina, respectivamente, alcanzando niveles de actividad antirradical ARA de 50% cuando fueron evaluados con el ensayo DPPH. Este patrón de comportamiento en la capacidad antioxidante y su porcentaje de inhibición del radical ABTS se mantuvo consistente al emplear el método ABTS. Nuevamente, ambos tratamientos, orgánico y sin fertilización, exhibieron resultados superiores, registrando valores de 102 ± 8.82 y 104.8 ± 8.30 $\mu\text{M ETrolox}/100$ g de harina, respectivamente (tabla 2).

El rendimiento del extracto seco de compuestos fenólicos, obtenido a través de extractos hidrofílicos con etanol al 80%, en la variedad pinto Libertad, fue de 18.5% en promedio y varió entre 178 y 194 mg/g de harina. Este rendimiento demostró ser superior en el orden de los siguientes tratamientos: mineral > orgánico > mixto orgánico-mineral y sin fertilización. En términos generales, el contenido de compuestos fenólicos totales evaluado por el método Folin-Ciocalteu, expresado en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) y catequina (ECAT) por gramo de muestra, así como por grupo, excedió el rango observado en el frijol pinto San Rafael. Los fenoles totales variaron entre 1.18 y 1.35 mgEAG y entre 1.28 y 1.47 mgECAT por g de harina, por el ensayo F-C. En esta categoría, los tratamientos: mineral > orgánico > mixto y sin fertilización mostraron diferencias estadísticas entre el tratamiento mineral y sin fertilización. No obstante, el contenido de compuestos fenólicos totales evaluado mediante el método uv espectrofotométrico no reveló diferencias estadísticas y presentó valores entre 16.68 y 18.38 mgECAT/g (tabla 3).

En cuanto al contenido de ésteres tartáricos totales (0.77 a 0.84 mgEA-C/g de harina), nuevamente se muestra el patrón observado en el contenido de compuestos fenólicos medido por F-C: mineral > orgánico > mixto orgánico-mineral > sin fertilización, con diferencias significativas entre mineral y sin fertilización. No obstante, no se observaron diferencias estadísticas para los flavonoles (0.59 a 0.66 mgEQUER/g) y los flavonoides totales (1.16 a 1.26 mgERUT/g) por gramo de muestra, respectivamente (tabla 3).

Por otra parte, la variedad pinto Libertad mostró un valor ligeramente superior de capacidad antioxidante (367.86 a 431.09 $\mu\text{M ETrolox}/100$ g de

harina), analizada por DPPH, en comparación con pinto San Rafael. Esto puede deberse al mayor contenido de compuestos fenólicos registrado, donde el tratamiento mineral demostró ser superior a los demás, mientras que el tratamiento orgánico y mixto fueron similares y superaron al tratamiento de ausencia de fertilización. Los valores de actividad antirradical se mantuvieron por encima de 50% (tabla 3). No obstante, los resultados obtenidos mediante el método ABTS indican que el tratamiento orgánico es similar al del mineral (112.64 ± 12.58 y $108.85 \pm 6.23 \mu\text{M ETrolox}/100 \text{ g}$ de harina, respectivamente) y superiores al del mixto ($101.1 \pm 9.58 \mu\text{M ETrolox}/100 \text{ g}$ de harina) y sin fertilización ($92.44 \pm 10.65 \mu\text{M ETrolox}/\text{g}$ de harina), lo cual muestra un rango de actividad antirradical de 23.24 a 27.23% (tabla 3).

Tabla 3. Contenido de compuestos fenólicos totales y por grupo* y capacidad antioxidante de frijol pinto Libertad

	Frijol pinto Libertad			
	Sin fertilización	Mineral	Orgánica	Mixta
Rendimiento extracto seco (mg/g harina)	178.00 \pm 6.37 c	194.0 \pm 8.01 a	185.47 \pm 2.87 b	182.33 \pm 3.53 bc
Fenoles totales F-C mg EAG/g harina	1.20 \pm 0.12 b	1.35 \pm 0.13 a	1.30 \pm 0.16 ab	1.18 \pm 0.11 b
Fenoles totales F-C mg ECAT/g harina	1.31 \pm 0.13 b	1.47 \pm 0.14 a	1.41 \pm 0.17 ab	1.28 \pm 0.12 b
*Fenoles totales mg ECAT/g harina	16.77 \pm 3.74	18.38 \pm 1.36	17.75 \pm 1.59	16.68 \pm 2.01
*Ésteres tartáricos mgEAC/g harina	0.77 \pm 0.05 b	0.84 \pm 0.06 a	0.83 \pm 0.04 ab	0.82 \pm 0.07 ab
*Flavonoles mgEQUE/g harina	0.59 \pm 0.14	0.65 \pm 0.14	0.67 \pm 0.10	0.66 \pm 0.18
*Flavonoides mgERUT/g harina	1.18 \pm 0.08	1.23 \pm 0.21	1.16 \pm 0.14	1.26 \pm 0.10
Capacidad antioxidante DPPH $\mu\text{M ETrolox}/100 \text{ g}$ harina	367.69 \pm 12.42 c	431.09 \pm 27.08 a	402.30 \pm 20.16 b	395.40 \pm 16.35 b
% ARA DPPH	48.83 \pm 2.89 b	52.43 \pm 2.77 a	51.32 \pm 3.51 ab	50.45 \pm 2.40 ab
Capacidad antioxidante ABTS $\mu\text{M ETrolox}/100 \text{ g}$ harina	924.38 \pm 10.65 c	108.85 \pm 6.23 ab	112.64 \pm 12.58 a	101.10 \pm 9.58 bc
% ARA ABTS	23.25 \pm 2.74 c	26.23 \pm 1.45 ab	27.23 \pm 2.31 a	24.80 \pm 1.63 bc

Notas: promedio \pm desviación estándar ($n = 3$). Distintas letras indican diferencias estadísticas significativas para cada variedad, ANOVA/Duncan ($p \leq 0.05$).

Análisis de componentes principales de frijol pinto San Rafael y pinto Libertad, bajo distintos esquemas de fertilización

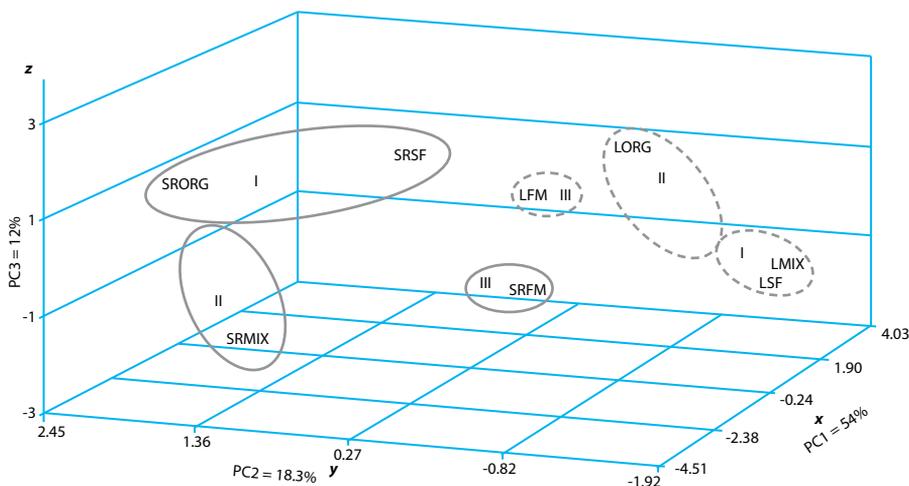
Puesto que no se evidenció una tendencia clara en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, para los tratamientos de fertiliza-

ción en ambas variedades, pinto San Rafael y pinto Libertad, y con el propósito de simplificar y resaltar las tendencias más significativas, se realizó un análisis de componentes principales (PCA), que condensa la variabilidad y permite visualizar patrones relevantes en las propiedades del grano de frijol cultivado bajo distintos regímenes de fertilización. Para este análisis se excluyeron los datos de color, debido a que no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos para cada variedad, de manera que sólo se seleccionaron 13 variables que abarcaron los aspectos físicos de la semilla y las distintas evaluaciones del contenido de los compuestos fenólicos presentes de los extractos de frijol, incluyendo su capacidad antioxidante y su porcentaje antirradical. Los resultados del análisis PCA revelaron tres componentes que explican 84.2% de la variabilidad total. El primer componente, con un valor propio (Eigen) de 7.02, abarca 54% de la variabilidad total. Este componente está asociado principalmente al contenido total de los compuestos fenólicos evaluador por F-C, expresados en mg equivalentes de ácido gálico (0.34) y catequina por gramo (0.34), ésteres tartáricos/UV (0.31), capacidad antioxidante medida por DPPH (0.34) y porcentaje de actividad antirradical (0.36). Estas relaciones sugieren que el primer componente está vinculado al contenido de los compuestos fenólicos totales, incluyendo los ésteres tartáricos, que presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, así como a la capacidad antioxidante medida por DPPH. El segundo componente, con un valor propio de 2.34, representa 18.3% de la variabilidad total. Los coeficientes de covarianza más destacados en este componente se relacionan con el rendimiento del extracto seco (0.59), los fenólicos totales/UV expresados como mgCAT/g (0.58), los flavonoles (0.37) y los flavonoides (0.29). Esto sugiere que el segundo componente está ligado a la evaluación de los fenólicos totales/UV por grupo. El tercer componente, con un valor propio de 1.56, abarca 12% de la variabilidad total. Este componente se relaciona con el tamaño del grano, medido por el peso de 100 semillas (0.26) y la densidad aparente (0.43), así como con la capacidad antioxidante por ABTS (0.47) y su actividad antirradical (0.43), a pesar de no estar directamente asociado con los compuestos fenólicos, los cuales son responsables de la capacidad antioxidante. Entonces se sugiere que este componente está relacionado con el tamaño de la semilla.

Las correlaciones más altas entre las diferentes evaluaciones se observaron en los datos de capacidad antioxidante CA por DPPH y por ABTS (0.90), así como por CA-DPPH y por %ARA-ABTS (0.84). El rendimiento del extracto seco mostró solamente una correlación alta con el contenido de fenoles totales/UV (0.79). El cuanto al contenido de compuestos fenólicos por F-C, éstos se correlacionaron positivamente con CA-DPPH (0.70) y con %ARA-DPPH (0.75), mientras que su correlación disminuyó con CA-ABTS (0.58) y con %ARA-ABTS (0.65). Adicionalmente, se identificó una relación sólida entre el contenido de compuestos fenólicos F-C y los diferentes fenólicos por grupos: 0.70 para ésteres tartáricos y moderada con los flavonoides (0.62), así como una correlación inversa con flavonoles (-0.61). En cuanto al peso de 100 semillas, se muestra una relación inversa moderada con CA-DPPH (-0.65) y con los flavonoides (-0.55). Por su parte, la densidad aparente demostró una correlación sólida con el contenido de flavonoides (0.8) y moderada con el contenido de fenoles totales F-C (0.54).

De acuerdo con la agrupación basada en los tres componentes principales, derivada del análisis de las 13 variables consideradas, la figura 2 presenta las relaciones entre los distintos tratamientos de fertilización de frijol pinto San Rafael y pinto Libertad. Se distinguen tres grupos distintivos para pinto San Rafael, En el grupo I, constituido por SRSF (ausencia de fertilización), se observa mayor similitud con SRORG (fertilización orgánica), caracterizado por un contenido elevado de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, aunque con un peso de 100 semillas menor. El grupo II, compuesto por SRMIX (fertilización mixta) exhibe características intermedias y es más cercano al grupo I, a pesar de su alto rendimiento en la obtención del extracto seco y del contenido de compuestos fenólicos, y de que presenta una capacidad antioxidante reducida. El grupo III, formado por SRFM (fertilización mineral), se caracteriza por tener un mayor peso de 100 semillas; sin embargo, registra el contenido más bajo de compuestos fenólicos y de actividad antioxidante. Los resultados sugieren que para la variedad San Rafael, la fertilización mineral puede brindar mayor tamaño de grano, a expensas de una calidad nutracéutica inferior. En contraste, si se busca una propuesta nutracéutica, entonces el rendimiento puede disminuir; por lo tanto, una opción equilibrada podría ser la aplicación de la fertilización mixta.

Figura 2. Agrupamiento de los tratamientos de fertilización de acuerdo con PCA para frijol pinto San Rafael y Libertad



Notas: *tratamientos de fertilización para pinto San Rafael:* SRSF = sin fertilización; SRFM = mineral; SRORG = orgánico; SRMIX = mezcla orgánico-mineral. *Tratamientos de fertilización para Pinto Libertad:* LSF = sin fertilización; LFM = mineral; LORNG = orgánico; LMIX = mezcla orgánico-mineral.

En la variedad Libertad también se identifican tres grupos distintivos: el grupo I integrado por LSF (ausencia de fertilización) y LMIX (fertilización mixta) se presenta un valor intermedio para el peso de 100 semillas, pero con un reducido contenido de compuestos fenólicos y baja actividad antioxidante. Estos tratamientos provocan impacto nutracéutico menor. El grupo II, representado por LORNG (fertilización orgánica), a pesar de tener el mayor peso de 100 semillas, registra valores intermedios de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante y tiene más similitud con el grupo I. El grupo III, formado por LFM (fertilización mineral), a pesar de su menor peso de 100 semillas, brinda los niveles más altos de compuestos fenólicos y de actividad antioxidante.

Los resultados sugieren que para la variedad San Rafael, la fertilización mineral brindará semilla de mayor tamaño, pero con menor calidad nutracéutica; por el contrario, si se busca una mejor propuesta nutracéutica, entonces el tamaño del grano será menor, por lo que una alternativa equilibrada sería la aplicación de la fertilización mixta. En cuanto a la variedad Libertad, si se busca una mejor propuesta nutracéutica, entonces el trata-

miento mineral es el recomendado, aunque con menor tamaño de la semilla; sin embargo, con la fertilización orgánica se consigue una propuesta nutracéutica y un tamaño de semilla intermedios, por lo que resulta ser la mejor alternativa de fertilización, por no hablar de los beneficios adicionales que trae consigo el uso de fertilizantes orgánicos.

Discusión

En relación con las características físicas de la semilla, ambas variedades presentan granos de tamaño medio (38 g/100 semillas), de forma oval y con un color crema con manchas café claro. Es notable la similitud en la apariencia de las variedades de frijol pinto San Rafael y Libertad, aspecto que fue confirmado con los datos de color, peso de 100 semillas y densidad aparente, pues presentan un tamaño mediano a grande, cuyas características coinciden con reportes previos que describen las variedades San Rafael y Libertad (Rosales, Nava *et al.*, 2014; Acosta-Gallegos *et al.*, 2016). En respuesta a la demanda de los productores que buscan características superiores a la variedad pinto Saltillo, tales como precocidad en el cultivo, resistencia al oscurecimiento de la testa y mayor tamaño de grano, se han desarrollado variedades mejoradas, tomando a pinto Saltillo como un ancestro común de pinto San Rafael y pinto Libertad. San Rafael, obtenida en 2004 por la cruce biparental de pinto Bayacora y pinto Saltillo, se adaptó al altiplano y al noroeste del país, con fotoperiodo neutral, adaptándose a todas las épocas del año, siempre y cuando tuviera suficiente humedad. Por otro lado, la variedad Libertad surge de la simple cruce entre pinto Mestizo y pinto Saltillo (2009), también de maduración temprana, capaz de almacenarse y de evitar el oscurecimiento, atributo que le brinda un alto valor comercial al aumentar su vida de anaquel (Rosales, Acosta *et al.*, 2009).

En relación con el color de las semillas, se han reportado diversos estudios que describen las propiedades cromáticas del frijol pinto producido en Casselton, Dakota del Norte, Estados Unidos. Los resultados revelaron valores de luminosidad (L) de 45.3, tonalidad roja (a) de 6.5, tonalidad amarilla (b) de 6.7, matiz (hue) de 0.8 y saturación (Croma) de 9.3 en la escala de color Hunter (Xu *et al.*, 2007). Mientras que Giusti *et al.* (2017) evaluó

frijol pinto de origen canadiense en el sistema CIELab*, con valores de $L^* 57.95$, $a^* 8.1$, $b^* 14.94$, $C^* 145.34$ y un matiz de 0.14. Comparando estos datos con las variedades mexicanas de frijol pinto San Rafael ($L^* 67.6 \pm 2.1$; $a^* 2.3 \pm 1.0$; $b^* 15.7 \pm 0.7$; $h 81.6 \pm 3.6$; $C^* 15.8 \pm 0.6$) y pinto Libertad ($L^* 65 \pm 2.0$; $a^* 4.0 \pm 0.2$; $b^* 15.5 \pm 0.7$; $h 75.6 \pm 0.8$; $C^* 16.2 \pm 0.6$), se puede observar que estas últimas presentan una mayor luminosidad, una tonalidad roja menos pronunciada, un ligero incremento en la tonalidad amarilla y valores de saturación más bajos.

Cabe destacar que el color de la testa del frijol tiene una importancia significativa con los compuestos fenólicos presentes en el frijol, los cuales, a su vez, están relacionados con las propiedades antioxidantes (Xu, 2007; Rocha-Guzmán *et al.*, 2007; Oomah, 2010; Giusti *et al.*, 2017; Rodríguez-Madrera *et al.*, 2021). Se ha observado que los frijoles de colores intensos, como el negro, presentan niveles más elevados de estos compuestos, mientras que los frijoles blancos o claros tienen niveles más bajos. En este contexto, el frijol pinto se sitúa en un término intermedio de color.

Se ha reconocido que en el organismo ocurren diversos procesos bioquímicos y fisiológicos que generan especies reactivas de oxígeno, cuyos agentes oxidantes son los responsables de desencadenar el estrés oxidativo, que surge cuando la producción de oxidantes supera la capacidad de la célula para neutralizarlos. Esta situación puede ocasionar daño celular y propiciar diversas enfermedades crónicas degenerativas, como aterosclerosis, enfermedades cardiovasculares, diabetes, hipertensión y Alzheimer, entre otras. La ingesta regular y variada de alimentos ricos en compuestos fenólicos puede tener un efecto fisiológicamente beneficioso a largo plazo. Estos compuestos poseen la capacidad de proteger el organismo contra el daño oxidativo celular y la inflamación debido a su potencial para capturar radicales libres. Adicionalmente, ejercen influencia sobre la actividad de enzimas redox, así como de secuestrar o quelar metales. Tal potencial ha sido demostrado por Oomah *et al.* (2010) en extractos de frijol pinto.

En términos de obtención del extracto seco de compuestos fenólicos de la variedad pinto San Rafael, se observó un rendimiento ligeramente superior (18.2 a 20 g/100g) en comparación con pinto Libertad (17.8 a 19.4%). Estos valores se encuentran dentro del rango de rendimientos de extracto seco (12.2 a 20.6 g/100 g) reportados por Madhuhith *et al.* (2004).

Al analizar los niveles de compuestos fenólicos por el método de Folín-Ciocalteu se observan disminuciones hasta de 43% en los tratamientos de ausencia de fertilización y fertilización mixta para la variedad Libertad, y reducciones de 52% en el tratamiento mineral para la variedad San Rafael, cuando es comparado con el contenido de harina de frijol Flor de Mayo 32 (2.25 mg ECAT/g), según lo reportado por Cardador-Martínez *et al.* (2002). En el mismo sentido, Giusti *et al.* (2017) registraron valores superiores (2.04 mg GAE/g) de compuestos fenólicos totales en frijol pinto de origen canadiense, a diferencia de nuestros resultados que oscilan entre 1.07 y 1.30 mg GAE/g para San Rafael, y entre 1.18 y 1.35 mg GAE/g para Libertad. Un estudio realizado por Sutivisedsak *et al.* (2010) reveló valores de 2.23 a 10.42 mg GAE/g de fenólicos totales en el cotiledón del frijol pinto, mientras que la cascarilla mostró valores superiores desde 1.28 hasta 52.94 mg GAE/g, obtenidos mediante extracción asistida con microondas en etanol al 50%, a distintas temperaturas, desde 25 hasta 150 °C, lo que evidencia que este método fue más efectivo para la extracción de compuestos fenólicos, en comparación con nuestros resultados. En relación con el contenido de compuestos fenólicos en diferentes genotipos mesoamericanos de frijol café y crema, los promedios fueron 2.1 ± 0.45 y 2.2 ± 0.4 mg GAE/g, respectivamente. Estos valores casi duplican los niveles encontrados en las variedades pinto en este estudio. Además, se observó una capacidad antioxidante de 27 ± 6.6 y 31.4 ± 10.4 $\mu\text{mol TE/g}$ mediante la prueba del DPPH, respectivamente, superando 10 veces los resultados de este estudio, de acuerdo con las investigaciones de Rodríguez-Madrera *et al.* (2021). Las diferencias marcadas en el contenido de los compuestos fenólicos de trabajos previos pueden deberse a diversos factores; entre ellos, las distintas variedades de frijol pinto, los distintos métodos de cultivo y la variación de las técnicas de extracción utilizadas. Asimismo, el análisis de los fenólicos totales por categoría o grupo reveló resultados consistentes con los obtenidos para la variedad Othello que utilizó extracciones con acetona y agua. Los valores obtenidos fueron 13.26 y 10.04 mg ECAT/g para fenoles totales, 0.83 y 0.79 mg ECAF/g para ésteres tartáricos, y 0.43 mg EQUe/g, respectivamente. Según los resultados de este estudio, el contenido total de compuestos fenólicos fue hasta 1.67 veces mayor en el tratamiento orgánico para la variedad San Rafael, y 1.38 veces mayor para el tratamiento mineral en

la variedad Libertad. En tanto, los ésteres tartáricos mostraron valores comparables con los del tratamiento orgánico en ambas variedades, San Rafael y Libertad, mientras que los tratamientos sin fertilización, fertilización mineral y fertilización mixta de San Rafael, así como el tratamiento sin fertilizar de Libertad, presentaron valores hasta 20% más bajos en comparación con la variedad Othello. En relación con los flavonoles, el contenido resultó ser hasta 1.8 veces mayor en la variedad San Rafael, y 1.5 veces mayor en la variedad Libertad, en comparación con el frijol pinto Othello, según lo reportado por Oomah *et al.* (2010).

Los valores de capacidad antioxidante registrados para las variedades San Rafael (34.1 a 40.5 $\mu\text{mol TE/g}$) y Libertad (36.7 a 43.1 $\mu\text{mol TE/g}$) fueron de 2.47 hasta 3.12 veces más elevados que los valores de la capacidad antioxidante obtenidos por medio de la prueba del DPPH para la variedad pinto (13.79 $\mu\text{mol TE/g}$), según lo informado por Xu *et al.* (2007). Sin embargo, estos valores superiores registraron un porcentaje de inhibición menor en la prueba del DPPH en comparación con el 80.3% reportado por Giusti *et al.* (2017). Además, tanto Giusti *et al.* (2017) como Antón *et al.* (2008) reportaron una correlación positiva entre los niveles de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante medida por el ensayo del DPPH. Cabe resaltar que los valores de capacidad antioxidante obtenidos por las variedades pinto San Rafael y pinto Libertad superaron los registrados para la harina de frijol Negro 8025 crudo (1.31 a 4.9 $\mu\text{mol TE/g}$) mediante las pruebas del DPPH y el ABTS, tal como indican Ramírez-Jiménez *et al.* (2014). De manera similar, se observó que estos valores sobrepasaron los obtenidos para extractos de frijol Negro y frijol Rojo de Brasil (17.04 $\mu\text{mol TE/g}$ y 21.09 $\mu\text{mol TE/g}$, respectivamente) (Soriano *et al.*, 2015).

El análisis de los componentes principales brindó una comparación más integral entre los diferentes tratamientos empleados en el cultivo del frijol, de acuerdo con la similitud de los diversos parámetros evaluados, centrándose principalmente en su composición nutracéutica, dada por los compuestos fenólicos y su actividad antioxidante. Los resultados sugieren un efecto diferencial dependiente de la variedad de frijol, lo cual se señala en estudios similares con extracto de kelp, al estudiar diferentes tratamientos de fertilización (Kocira, Kocira *et al.*, 2018).

El primer componente, que explica la variabilidad media (54%), está asociado con el contenido de los compuestos fenólicos de frijol, analizados por el método de Folc-Ciocalteau, que es ampliamente utilizado en la caracterización inicial de compuestos fenólicos y que correlaciona estrechamente con la capacidad antioxidante por DPPH (0.70). En conjunto, proporciona información del potencial nutracéutico del frijol. Se sabe que los principales compuestos fenólicos del frijol pinto son los ácidos *p*-coumárico, ferúlico, sinápico y gálico, además de clorogénico, catequina y epicatequina (Luthria y Pastor-Corrales, 2006; Lin *et al.* 2008; Giusti *et al.* 2017).

El segundo componente, asociado al rendimiento del extracto seco, así como a los fenoles totales evaluados por el método UV, experimenta una alta correlación (0.79), permitiendo identificar diferencias con base en un método muy simple para clasificar compuestos fenólicos por grupo y cuantificar los flavonoides, siendo kaempferol el principal flavonoide reportado en frijol pinto. El 12% de la variabilidad total es explicada por el tercer componente, relacionado con el peso de 100 semillas y la densidad aparente, y, de manera sorpresiva, con la capacidad antioxidante y el porcentaje de ARA por ABTS; sin embargo, no se observa una correlación directa entre estos parámetros. Se destaca una correlación negativa moderada entre la capacidad antioxidante por DPPH y por % ARA-DPPH y el peso de 100 semillas (-0.65), lo que sugiere que, a medida que aumenta el tamaño del grano, la capacidad antioxidante disminuye.

De acuerdo con el análisis de agrupación, basado en las similitudes de los parámetros analizados para cada tratamiento y para cada variedad, en pinto San Rafael, se observó que el grupo I conformado por SRSF y SRORG presentó un contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante superiores. Este comportamiento puede ser explicado como una respuesta adaptativa mediante la cual aumenta la concentración de estos compuestos como un mecanismo de defensa intrínseco ante la baja disponibilidad de nutrientes, como se evidencia en el tratamiento sin fertilización. Estos resultados concuerdan con el trabajo de Kocira, Świeca *et al.* (2018), que emplearon extracto de algas marinas como fertilizante y reportaron un efecto positivo en el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y antocianinas, así como en la capacidad antioxidante en frijol. Por otro lado, la fertilización orgánica se mostró como una alternativa intermedia en la

variedad Libertad, donde LORG presenta mayor tamaño del grano, pero con valores intermedios de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Es importante señalar que, a pesar de las controversias en torno de la calidad de los productos cultivados bajo sistemas orgánicos, Yu *et al.* (2018) demuestran que los productos orgánicos brindan un mejor sabor, una textura más tierna, contenido de grasa inferior y contenido de fitoquímicos superior, como vitaminas, carotenoides y compuestos fenólicos, además de un enriquecimiento de minerales como Fe, Cu, Mg, Cr, Zn y P. En este estudio, los resultados obtenidos para SRSF y SRORG concuerdan con Ortiz-Sánchez *et al.* (2023), quienes aplicaron fertilización orgánica en frijol Rarámuri, cultivado en Durango. En su trabajo no encuentran diferencias significativas en el valor nutricional entre la fertilización orgánica y el control sin fertilización, lo que sugiere una alternativa sustentable sin afectar la calidad del grano.

Por su parte, en la fertilización mixta se esperaba un efecto sinérgico que mejorara la calidad de la semilla en términos de apariencia y contenido de nutraceuticos. Sin embargo, los resultados difieren para cada variedad; San Rafael SRMIX, a pesar de brindar alto rendimiento del extracto seco y del contenido de compuestos fenólicos, posee una capacidad antioxidante baja y presenta un valor intermedio en cuanto al peso de 100 semillas. Por otra parte, la variedad Libertad, LMIX fertilización mixta, también con un valor intermedio para el peso de 100 semillas, mostró el menor contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, lo que se traduce en una baja calidad nutraceutica. Estos resultados contrastan con lo reportado por Mohamed *et al.* (2023), quienes sugieren que la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos puede para mejorar la calidad del frijol Nebraska. En la variedad San Rafael, la fertilización mineral tuvo un impacto negativo en la calidad nutraceutica, pero resultó en mayor peso de 100 semillas. Por el contrario, para la variedad Libertad, la fertilización mineral resultó el mejor tratamiento en términos de calidad nutraceutica, a pesar de tener tamaño de grano menor.

Es importante resaltar que ambas variedades, cuyos tratamientos SRSF, SRORG y LFM presentaron menor tamaño de semilla, brindan mayor contenido de compuestos fenólicos; esto podría ser un efecto físico, por medio del cual la semilla más pequeña podría tener una mayor proporción de cascarilla, mientras que las semillas más grandes podrían tener un mayor

contenido de almidón, lo que diluiría la concentración de compuestos fenólicos; por lo tanto, se sugiere llevar a cabo más investigación con diferentes tipos y tamaños de semillas de frijol, para comprender mejor la relación entre el tamaño de semilla y los compuestos fenólicos, así como la proporción de la cascarilla en relación con la variedad de frijol.

A pesar de la importancia nutracéutica que se le ha atribuido al frijol en este trabajo, es relevante destacar que los productores buscan competitividad y seleccionan variedades de ciclos precoces, con mayor tamaño de grano, que presenten un oscurecimiento lento de la testa durante el almacenamiento. Por lo tanto, es esencial establecer programas de mejoramiento de semillas que puedan incorporar el máximo de características de interés para el agricultor, como las características nutracéuticas que el consumidor demanda de sus alimentos, o bien, a través de la fertilización de los cultivos.

Conclusiones

Los resultados indican que los diferentes tratamientos de fertilización no tuvieron un impacto significativo en el color de la semilla de las variedades analizadas. Sin embargo, hay diferencias significativas en la calidad nutracéutica y en el tamaño del grano de frijol en función de los tratamientos de fertilización aplicados.

A partir del análisis de componentes principales y de agrupamiento se tiene una visión clara acerca de cómo los diferentes tratamientos de fertilización impactan en la calidad nutracéutica y en el tamaño del grano de frijol, lo que ha permitido identificar tres componentes principales clave en este estudio. El principal componente se relaciona directamente con el potencial nutracéutico del frijol y está influenciado en gran medida por el contenido de compuestos fenólicos totales evaluados mediante el método Folín-Ciocalteau y por la capacidad antioxidante evaluada mediante el método DPPH. El segundo componente está vinculado con el rendimiento del extracto seco de compuestos fenólicos y los fenólicos totales evaluados por grupo. Mientras que el tercer componente principal se asocia con el tamaño del grano de frijol, representado por el peso de 100 semillas y la densidad aparente, así como por la capacidad antioxidante medida con el método ABTS.

Se observa una respuesta diferencial en función de la variedad estudiada; específicamente en el caso de la variedad San Rafael, la aplicación de fertilización orgánica promueve una mayor calidad nutracéutica en el grano de frijol a costa de un tamaño menor. Por otro lado, la fertilización mixta se presenta como una alternativa equilibrada que combina calidad nutracéutica y tamaño de grano. En contraste, la fertilización mineral produce semillas de mayor tamaño, pero con una calidad nutracéutica inferior. Para la variedad Libertad se observa una respuesta positiva a la fertilización mineral en términos de calidad nutracéutica, aunque con un tamaño de grano más pequeño. La fertilización orgánica, en este caso, ofrece una propuesta intermedia en cuanto a calidad nutracéutica y tamaño de semilla y representa la mejor alternativa en general, considerando los beneficios adicionales que aporta en términos de sostenibilidad y calidad nutracéutica en el grano de frijol.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional, Secretaría de Investigación y Posgrado, Proyecto Multidisciplinario 2096: “Evaluación de diferentes estrategias de fertilización orgánica en cultivos de interés alimentario: impacto a nivel agronómico, calidad nutrimental y nutracéutica de los cultivos”, proyectos SIP 20201568, SIP 20210248 y SIP 20220612. Agradecemos a Ana Rosa Sánchez Camarillo, estudiante del Programa de Doctorado en Biotecnología del IPN, por realizar la siembra de frijol, la aplicación de los distintos tratamientos y la cosecha del material biológico para este trabajo. También a Rigoberto Castro Rivera, colaborador del proyecto en lo que concierne a ideas, análisis de datos y discusiones, así como a Elsa Jaqueline Ayala Aguilar, estudiante de licenciatura en ciencias biomédicas de la UADO-Guaymas, por el análisis cuantitativo y la obtención de datos experimentales.

Referencias

Acosta Gallegos, J. A., Jiménez Hernández, Y., Montero Tavera, V., Guzmán Maldonado, S. H., y Anaya López, J. L. (2016). San Rafael, nueva variedad de frijol pinto de reac-

- ción neutral al fotoperiodo para el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), pp. 717-722. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.330>.
- Anton, A. A., Ross, K. A., Beta, T., Fulcher, R. G., y Arntfield, S. D. (2008, junio). Effect of pre-dehulling treatments on some nutritional and physical properties of navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT*, 41(5), pp. 771-778. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.014>.
- Cámara, C. R. S., Urrea, C. A., y Schlegel, V. (2013). Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a functional food: Implications on human health. *Agriculture*, 3(1), pp. 90-111. <https://doi.org/10.3390/agriculture3010090>.
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., y Oomah, B. D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43(2), pp. 461-482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.004>.
- Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzman-Maldonado, S. H., Paredes-Lopez, O., Oomah, B. D., y Loarca-Piña, G. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 74, pp. T59-T65. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01292.x>.
- FAO (2016). *Legumbres, semillas nutritivas para un futuro sustentable*. FAO. <https://www.fao.org/pulses-2016>.
- FAOSTAT (2021). Datos sobre alimentación y agricultura: Producción de frijol. FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Finley, J. W., Burrell, J. B., y Reeves, Ph. G. (2007). Pinto bean consumption changes SCFA profiles in fecal fermentations, bacterial populations of the lower bowel, and lipid profiles in blood of humans. *The Journal of Nutrition*, 137(11), pp. 2391-2398. <https://doi.org/10.1093/jn/137.11.2391>.
- Flores-Gallardo H., Rosales-Serna R., Santana-Espinoza S., y Nieves-Martínez, M. A. (2018, 25-26 de octubre). *Dosis de fertilización y su relación con el rendimiento potencial de las nuevas variedades de frijol pinto cultivadas en Durango, México* [ponencia]. XXI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, Mexicali, Baja California, México.
- García Bertoldo, J. G., Pelisser, A., Da Silva, R., Favreto, R., y Díaz de Oliveira, L. A. (2015). Alternatives in bean fertilization to reduce the application of N-urea. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(3), pp. 348-355. <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/34885>.
- Giusti, F., Caprioli, G., Ricciutelli, M., Vittori, S., y Sagratini, G. (2017). Determination of fourteen polyphenols in pulses by high performance liquid chromatography-diode array detection (HPLC-DAD) and correlation study with antioxidant activity and colour. *Food Chemistry*, 221, pp. 689-697. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.118>.
- Gutiérrez-Uribe, J., Serna-Saldívar, S., Moreno-Cuevas, J., Hernández-Brenes, C., y Guajardo-Touche, E. (2005). *Cancer Cell Growth Inhibition of Black Bean (Phaseolus vulgaris L.) Extracts* (WO/2005/107780). Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2005107780>.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfikar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., y Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in

- plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), pp. 1-52. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.
- Kocira, S., Kocira, A., Kornas, R., Koszel, M., Szmigielski, M., Krajewska, M., Szparaga, A., y Krzysiak, Z. (2018, agosto). Effects of seaweed extract on yield and protein content of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Legume Research*, 41(4), pp. 589-593. <https://doi.org/10.18805/LR-383>.
- Kocira, A., Świeca, M., Kocira, S., Złotek, U., y Jakubczyk, A. (2018, marzo). Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(3), pp. 563-571. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.039>.
- Lin, L.-Z., Harnly, J. M., Pastor-Corrales, M. S., y Luthria, D. L. (2008). Los perfiles polifenólicos del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 107(1), pp. 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.038>.
- Luthria, D. L., y Pastor-Corrales, M. A. (2006). Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(2-3), pp. 205-211. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.09.003>.
- Madhujith, T., Naczki, M., y Shahidi, F. (2004, septiembre). Antioxidant activity of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Lipids*, 11(3), pp. 220-233. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2004.01134.x>.
- Mohamed, A. S., Mohamed, M. H. M., Halawa, S. S., y Saleh, S. A. (2023). Partial exchange of mineral N fertilizer for common bean plants by organic N fertilizer in the presence of salicylic acid as foliar application. *Journal of Crop Health*, 75, pp. 2009-2020. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00834-3>.
- Moreno-Jiménez, M. R., Cervantes-Cardoza, V., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Estrella, I., García-Gasca, T. J., Herrera-Carrera, E., Díaz-Rivas, J. O., y Rocha-Guzmán, N. E. (2015). Cambios en la composición fenólica de los frijoles comunes procesados: sus efectos antioxidantes y antiinflamatorios en las células cancerosas intestinales. *Food Research International*, 76(1), pp. 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.003>.
- Oomah, B. D., Cardador-Martinez, A., y Loarca-Piña, G. (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), pp. 935-942. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2019>.
- Oomah, B. D., Corbé, A., y Balasubramanian, P. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(14), pp. 8225-8230. <https://doi.org/10.1021/jf1011193>.
- Ortiz-Sánchez, I. A., Gamero-Posada, E. C., Nava-Berumen, C. A., Valdez-Ortega, S., y Alaniz-Villanueva, O. G. (2023). Productivity and nutritional value of common beans with organic fertilization in Durango, México. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 40(2), e234014. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v40.n2.04](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v40.n2.04).
- Palau Bioquim (s. f.). *AlgaEnzimS: Información técnica para el buen uso y manejo*. <http://www.palaubioquim.com.mx/algaenzims>.
- Qadiri, A. Sh., Mutawakel, A. M., y Saeedi, M. (2023, abril). Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris*

- L.) in Badakhshan, Afghanistan. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 2(2), pp. 253-258. <https://doi.org/10.55544/jrasb.2.2.36>.
- Ramírez-Jiménez, A. K., Reynoso-Camacho, R., Mendoza-Díaz, S., y Loarca-Piña, G. (2014). Functional and technological potential of dehydrated *Phaseolus vulgaris* L. flours. *Food Chemistry*, 161, pp. 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.008>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999, mayo). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9/10), pp. 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).
- Reynoso Camacho, R., Ríos Ugalde, M. C., Torres Pacheco, I., Acosta Gallegos, J. A., Palomino Salinas, A. C., Ramos Gómez, M., González Jasso, E., y Guzmán Maldonado, S. H. (2007). El consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y su efecto sobre el cáncer de colon en ratas Sprague-Dawley. *Agricultura Técnica en México*, 33(1), pp. 43-52. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v33n1/v33n1a5.pdf>.
- Rocha-Guzmán, N. E., Herzog, A., González-Laredo, R. F., Ibarra-Pérez, F. J., Zambrano-Galván, G., y Gallegos-Infante, J. A. (2007). Antioxidant and antimutagenic activity of phenolic compounds in three different colour groups of common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chemistry*, 103(2), pp. 521-527. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.021>.
- Rodríguez-Licea, G., García-Salazar, J. A., Rebollar-Rebollar, S., y Cruz-Contreras, A. C. (2010). Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico*, 2(1), pp. 121-145. <https://paradigmaeconomico.uaemex.mx/article/view/4810>.
- Rodríguez Madrera, R., Campa Negrillo, A., Suárez Valles, B., y Ferreira Fernández, J. J. (2021). Contenido fenólico y actividad antioxidante en semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Foods*, 10(4), p. 864. <https://doi.org/10.3390/foods10040864>.
- Rosales Serna, R., Acosta Gallegos, J. A., Ibarra Pérez, F. J., Cuéllar Robles, E. I., y Nava Berumen, C. A. (2009, 10 de junio). *Validación de líneas y variedades mejoradas de frijol en Durango* (Publicación Especial, 27). INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte-Centro.
- Rosales-Serna, R., Ibarra-Pérez, F. J., y Cuéllar-Robles, E. I. (2012). Pinto Libertad, nueva variedad de frijol para el estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), pp. 1663-1670. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i8.1331>.
- Rosales-Serna, R., Nava-Berumen, C. A., González-Ramírez, H., Herrera, M. D., Jiménez-Galindo, J. C., Ramírez-Cabral, N. Y. Z., y Osuna-Ceja, E. S. (2014). Rendimiento, preferencia y calidad de enlatado de variedades de frijol pinto producidas en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), pp. 309-315. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i2.968>.
- Sachan, H. K., y Krishna, D. (2021). Effect of organic and inorganic fertilization on growth and yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Fiji. *Legume Research*, 44(11), pp. 1358-1361. <https://doi.org/10.18805/LR-4376>.

- Soriano Sancho, R. A., Pavan, V., y Pastore, G. M. (2015). Effect of *in vitro* digestion on bioactive compounds and antioxidant activity of common bean seed coats. *Food Research International*, 76(1), pp. 74-78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.042>
- SAS Institute (1990). *SAS/STAT user's guide* (version 9.0). SAS Institute.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2022). *Panorama agroalimentario 2022*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SIAP. <https://drive.google.com/file/d/1jVWS4EFKK7HGwQOBpGeljUyaDT8X8lyz/view>.
- Shukla, P. S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A. T., y Prithiviraj, B. (2018). Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*, 10(1-8). <https://doi.org/10.1093/aobpla/plx051>.
- Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., Torre Carbot, K., y García-Gasca, T. (2016). Semillas del frijol: fuente líder de nutraceuticos para la salud humana. *CyTA-Journal of Food*, 14(1), pp. 131-137. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>.
- Sutivisedsak, N., Cheng, H. N., Willett, J. L., Lesch, W. C., Tangsrud, R. R., y Biswas, A. (2010). Microwave-assisted extraction of phenolics from bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Food Research International*, 43(2), pp. 516-519. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.014>.
- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. C. y Ulloa Rangel, B. E. (2011). *El frijol* (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Conacyt.
- Xu, B. J., Yuan, S. H., y Chang, S. K. C. (2007). Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. *Journal of Food Science*, 72(2), pp. S167-S177. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00261.x>.
- Yu, X., Guo, L., Jiang, G., Song, Y., y Muminov, M. A. (2018, febrero). Advances of organic products over conventional productions with respect to nutritional quality and food security. *Acta Ecologica Sinica*, 38(1), pp. 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.01.009>.
- Ziaei, M., y Pazoki, A. (2022). Foliar-applied seaweed extract improves yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars through changes in biochemical and fatty acid profile under irrigation regimes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), pp. 2969-2979. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00860-6>.

VI. La importancia del espacio físico en el aprendizaje: intervención educativa en una escuela telesecundaria en Ocotlán de Morelos, Oaxaca, México

MÓNICA SOLEDAD RODRÍGUEZ-RUVALCABA*

JOSÉ LUIS CABALLERO-MONTES**

MARGARITA RASILLA-CANO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.06>

Resumen

Introducción: Para mejorar la infraestructura de la Escuela Telesecundaria Galea ubicada en Ocotlán de Morelos, Oaxaca, que cuenta con aulas improvisadas, se lleva a cabo un proyecto que considera la importancia del espacio físico en el entorno escolar y su repercusión en el aprendizaje. La significatividad del aprendizaje propicia la apropiación de los espacios; por esta razón se planteó una intervención educativa dirigida a estudiantes y maestros de la institución mencionada. *Objetivo:* Aportar propuestas al diseño de la Escuela Telesecundaria Galea mediante la identificación de factores físicos de los espacios educativos que influyen en el aprendizaje. *Métodos:* La intervención educativa se realizó en tres sesiones con nueve participantes y se diseñó con la metodología 4 MAT que contempla cuatro etapas (experimentar, conceptualizar, aplicar y evaluar). En la primera se rescataron experiencias previas de los estudiantes en espacios educativos y en la segun-

* Maestranda en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5140-0532>; Autora de correspondencia: mrodriguezr2200@alumno.ipn.mx

** Maestro en Administración de la Construcción por el Instituto Tecnológico de la Construcción y profesor-investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Autor de correspondencia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3634-2080>

*** Maestra en Educación Media Superior y Universitaria y profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8873-5471>

da se introdujeron los elementos que se consideran relevantes para generar un espacio que propicie el aprendizaje. Para ello se aplicaron los elementos identificados sobre maquetas de trabajo y plantas arquitectónicas del conjunto. Finalmente se evaluaron las propuestas de diseño elaboradas. *Resultados:* Se observó la aplicabilidad de la metodología 4 MAT para cumplir con el objetivo de la investigación, ya que mediante estrategias de sensibilización y comprensión de conceptos que relacionan el espacio físico con el aprendizaje, los estudiantes aportaron propuestas plasmadas en una maqueta y dos plantas arquitectónicas del conjunto, contribuyendo al diseño de sus espacios educativos y generando la apropiación del proyecto arquitectónico desde su fase inicial.

Palabras clave: *ambiente de aprendizaje; espacio físico escolar; educación secundaria; práctica pedagógica; método de enseñanza 4 MAT; taller educativo.*

Introducción

Los espacios escolares son parte fundamental de la infraestructura física de las instituciones educativas; de allí la importancia que tienen para poder realizar investigaciones educativas y proponer soluciones para su mejoramiento, rediseño o adecuación. Miranda (2018), en México, realizó una investigación diagnóstica sobre la infraestructura física educativa (IFE) para mostrar el traslape de vacíos de infraestructura básica (no curricular) que considera instalaciones y materiales en las escuelas y la llamada infraestructura curricular o de innovación que atiende aspectos de conectividad, habilidades para el manejo de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y disponibilidad de espacios y materiales necesarios para el desarrollo de métodos de enseñanza innovadores. Este estudio lo realizó para evidenciar las brechas existentes en las escuelas más vulnerables ubicadas por lo general en comunidades rurales y en zonas suburbanas en consolidación. Los resultados de esta investigación indican que en cuanto a infraestructura básica en pleno siglo XXI aún se refleja la desigualdad entre lo público y lo privado, y entre lo rural y lo urbano, siendo la disponibilidad de tazas sanitarias exclusivas para los estudiantes la brecha más

preocupante, aunque también existen diferencias significativas en la disponibilidad de dirección y cancha deportiva, así como en la de servicios como agua y energía eléctrica.

En el país existen muchas escuelas cuya infraestructura educativa es deficiente pues carecen de aulas, espacios administrativos y canchas deportivas, de acuerdo con el diagnóstico del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED, 2016), y desafortunadamente el sistema institucional es incapaz de atender la demanda de espacios educativos adecuados. Esto ocurre en estados que tienen los niveles educativos más bajos, como Oaxaca, donde los estudiantes toman clases en aulas improvisadas construidas con materiales precarios. Mendoza (2016) menciona que cuatro de cada cinco escuelas del nivel básico en el estado, donde se ubican las primarias y las secundarias, tenían carencias en aulas educativas y servicios básicos, es decir, 11 489 de ellas; mientras que sólo 2 373 escuelas podrían considerarse adecuadas.

Esta situación obliga al desarrollo de proyectos gestionados por las propias comunidades estudiantiles que, ante la problemática de no contar con espacios educativos con condiciones de habitabilidad, se ven en la necesidad de mejorar su infraestructura educativa mediante diversas estrategias al margen del apoyo gubernamental. Es el caso de la Escuela Telesecundaria de Galea, motivo de este estudio y que forma parte del proyecto de tesis: “Gestión participativa del proyecto de una escuela telesecundaria en Ocotlán de Morelos, Oaxaca, con enfoques: sustentable, solidario y pedagógico”, que se desarrolla actualmente en el Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-Oaxaca) dentro de la Maestría en Gestión de Proyectos para Desarrollo Solidario.

Para tener un contexto de las investigaciones que refieren a la relación entre el espacio físico y el aprendizaje se puede mencionar el trabajo de Hopland y Nyhus (2015), con el cual se confirma que experimentar un apego emocional y sentir satisfacción con el entorno escolar tiene un efecto positivo en el proceso de aprendizaje y en la motivación de los estudiantes. Esto sugiere que cuando los estudiantes se sienten cómodos y conectados con su entorno físico están más motivados para aprender y obtienen mejores resultados académicos. Por su parte, la investigación de Baum (2018) destaca la relevancia pedagógica de la configuración del mobiliario

rio y el diseño del aula, especialmente en contextos de grupos reducidos. Este estudio confirma que el diseño adecuado del espacio y la disposición del mobiliario tienen un impacto positivo en el proceso de aprendizaje y en el compromiso de los estudiantes con sus tareas.

Los estudios anteriores respaldan la idea de que el entorno físico de la escuela desempeña un papel importante en el éxito académico de los estudiantes. Cuando los estudiantes se sienten apegados y satisfechos con su entorno y cuentan con un diseño de aula adecuado, su motivación y su rendimiento académico tienden a ser más positivos. Esto destaca la importancia de considerar el diseño y la configuración de los espacios escolares como un componente significativo en la planificación educativa (Pericacho, 2022).

Por otra parte, en la práctica pedagógica uno de los aprendizajes que tiene relevancia es el aprendizaje significativo, con el cual se pretende que los estudiantes aprendan conceptos, ideas y proposiciones, de manera que la nueva información se incorpore a su estructura cognitiva para que la relacionen con los conocimientos previos (Ausebel, Novak y Hanesian, 1983). El aprendizaje significativo que se busca con la intervención hecha en esta investigación va en el sentido de que los estudiantes comprendan la importancia del espacio físico en el aprendizaje les genere una apropiación de los espacios de su escuela, desde la fase de diseño en la que ellos son una parte importante.

La investigación que se lleva a cabo toma como referencia trabajos realizados en otros países, en los que se han diseñado proyectos innovadores de espacios educativos mediante metodologías de intervención educativa y tomando como base la investigación cualitativa de investigación-acción (Teba *et al.*, 2020; Mokhtar *et al.*, 2016) que consiste en la participación de las comunidades estudiantiles durante el proceso de diseño.

Para el diseño de la intervención educativa se empleó la metodología 4 MAT (McCarthy, 1987) con el objetivo de que los y las estudiantes y maestros de la escuela telesecundaria del caso de estudio identificaran las características de los espacios educativos que influyen en el aprendizaje y aportaran propuestas de diseño. La metodología 4 MAT se compone de cuatro etapas: experimentar, conceptualizar, aplicar y evaluar, a través de las cuales se desarrolla el ciclo de aprendizaje, primero reflexionando y analizando experiencias previas y posteriormente aprendiendo e internalizando con-

ceptos que se ponen en práctica en la etapa de aplicación y los cuales se deben evaluar para implementar aplicaciones en experiencias nuevas.

La presente investigación se llevó a cabo en una escuela de nivel medio básico (telesecundaria) ubicada en el municipio de Ocotlán de Morelos, a 34 km de la capital del estado Oaxaca, con la cual se conecta a través de la carretera federal 170 que comunica el interior con la costa del Pacífico.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se desarrolló en la escuela telesecundaria de la población colonia Galea ($16^{\circ} 47' 45.3''$ N $96^{\circ} 39' 02.5''$ O), ubicada a 2 km de Ocotlán de Morelos, la ciudad más cercana y su cabecera municipal.

La infraestructura de la Telesecundaria de Galea actualmente presenta condiciones físicas que interfieren en el desarrollo de la comunidad escolar que la habita, por la precariedad de sus dos aulas construidas con muros y techos a base de estructura metálica, madera y láminas galvanizadas, en un terreno sin barda perimetral, con desniveles y carente de servicios básicos (figura 1).

Figura 1. Condiciones de la infraestructura física de la Telesecundaria de Galea

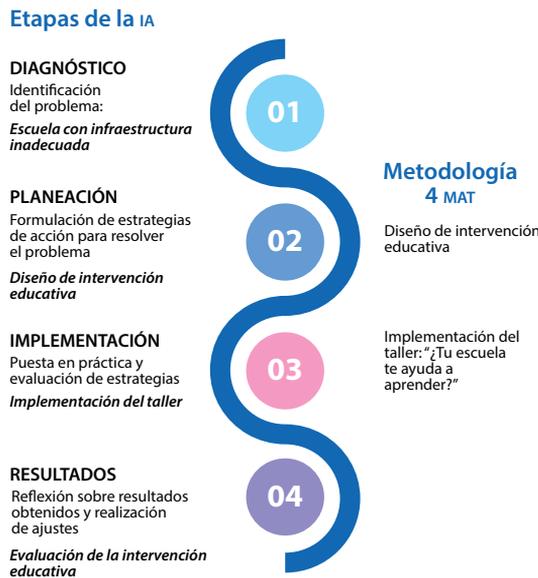


Fuente: Salazar (2021).

La institución estudiada es una escuela multigrado con un docente que atiende a tres grupos de enseñanza. En cuanto a la población estudiantil, es pequeña; en el ciclo escolar 2022-2023 contaba con 18 alumnos inscritos nueve mujeres y nueve hombres de 12 a 16 años, de los cuales sólo siete asistían con regularidad a la escuela. Algunos de ellos viven en la colonia Galea y otros en comunidades cercanas. Para la mayoría de los estudiantes era complicado asistir a la telesecundaria debido a la distancia entre ésta y sus hogares, además de otros factores, como el económico, ya que en algunos casos tenían que ir a trabajar. Esta situación obligó a implementar la modalidad de enseñanza a distancia para dar atención a los estudiantes a los que, por lo antes expuesto, les era difícil atender las clases presenciales.

La investigación es de carácter cualitativo basada en la metodología de investigación acción (IA) donde el proceso para solucionar un problema se pasa por los intereses y las necesidades del grupo de personas, estableciendo una dialéctica entre el conocimiento y la acción; es decir, son las mismas personas el factor fundamental para cualquier cambio social (Taylor y Bodgan, 1990).

Figura 2. Metodología del proyecto a partir de la IA y la metodología 4 MAT



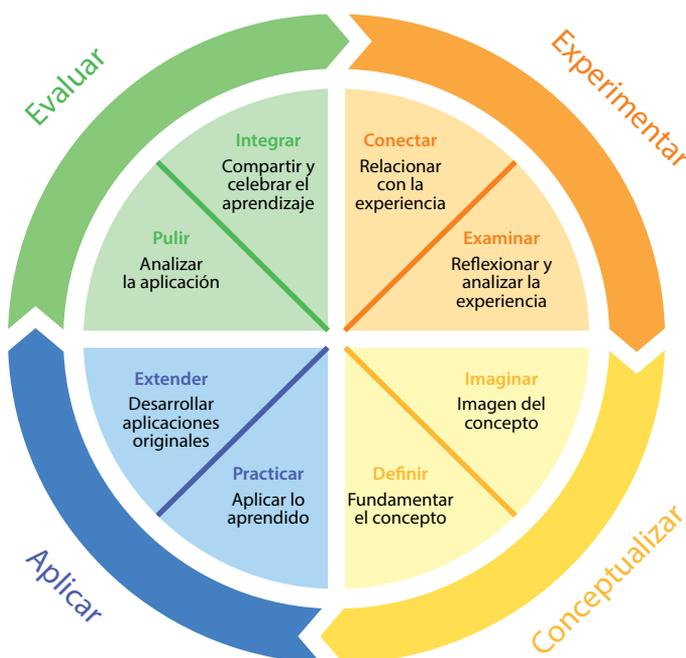
Fuente: elaboración propia.

El propósito de la investigación en la Telesecundaria Galea era que los y las estudiantes y profesores de la institución tomaran conciencia sobre la problemática relacionada con su infraestructura educativa inadecuada, construida con materiales precarios, de manera que ellos mismos aportaran soluciones al diseño de su escuela.

La recolección de datos se llevó a cabo por medio de la observación y la aplicación de cuestionarios para lo cual se implementó un taller. La segunda fase, la de planeación de la IA (figura 2), determinó cómo se llevaría a cabo la intervención educativa siguiendo la metodología 4 MAT (McCarthy, 1987).

Se siguieron las cuatro etapas y las siete de las ocho subetapas que plantea esta metodología para organizar la participación de la comunidad estudiantil (estudiantes y maestros), tanto en la identificación de la influencia del espacio físico en el aprendizaje como en la propuesta de diseño de la escuela (figura 3).

Figura 3. Metodología del ciclo de enseñanza 4 MAT



Fuente: elaboración propia a partir de McCarthy (2013).

Para lograr el objetivo de este trabajo de investigación —esto es obtener de la comunidad estudiantil propuestas de diseño para la escuela Telesecundaria Galea— la comunidad identificó los factores físicos de los espacios educativos que influyen en el aprendizaje, mediante la intervención educativa que para ello organizó el equipo de investigadores.

En las tablas 1 y 2 se muestra el diseño de las sesiones de acuerdo con las etapas de 4 MAT con los objetivos específicos de las subetapas. Para la cuarta etapa de evaluación sólo se consideró la subetapa de pulir.

Tabla 1. *Diseño de la sesión sobre el espacio escolar interior*

<i>Etapas</i>	<i>Subetapas</i>	<i>Objetivos</i>
<i>Experimentar</i>	<i>Conectar</i>	Rescatar experiencias previas en espacios educativos interiores (aulas).
	<i>Examinar</i>	Comparar las experiencias previas en espacios educativos para identificar las diferencias.
<i>Conceptualizar</i>	<i>Imaginar</i>	Proporcionar información sobre aspectos relevantes en el diseño de espacios educativos para conceptualizar la importancia del espacio físico en el aprendizaje. Contenidos abordados: la teoría del color, la iluminación natural, la ventilación en el aula, el entorno natural, el ruido y sus efectos en el ambiente dentro del aula y el mobiliario.
	<i>Definir</i>	Identificar opciones de uso y mobiliario para el aula de usos múltiples.
<i>Aplicar</i>	<i>Practicar</i>	Utilizar la información recibida mediante la pintura de una maqueta de trabajo.
	<i>Extender</i>	Construir el mobiliario del aula de usos múltiples, para integrarlo en una maqueta de trabajo de acuerdo a los resultados de la subetapa <i>definir</i> .
<i>Evaluar</i>	<i>Pulir</i>	Valorar las propuestas de la etapa de aplicación mediante la comparación de las mismas para aportar opciones de mejora.

Fuente: elaboración propia.

El título de la intervención educativa que se realizó fue “¿Tu escuela te ayuda a aprender?”, el cual se estructuró como pregunta, como una invitación a las y a los estudiantes a responderla en el desarrollo de las actividades encomendadas. Se planearon para ello dos sesiones con una duración de tres horas cada una y una tercera sesión de una hora. El trabajo se realizó con la participación de siete estudiantes y dos maestros (director y profesor), aunque no todos estuvieron en las tres sesiones.

La primera sesión tuvo el propósito de obtener información para el diseño del espacio escolar interior; en tanto que la segunda fue para recolectar datos que permitieran la conceptualización de los espacios exteriores; durante la tercera se efectuó la evaluación de las actividades realizadas en las dos sesiones anteriores.

Tabla 2. *Diseño de la sesión sobre el espacio escolar exterior*

<i>Etapa</i>	<i>Subetapa</i>	<i>Objetivos</i>
<i>Experimentar</i>	<i>Conectar</i>	Reconocer las características del patio de la escuela primaria mediante la observación.
	<i>Examinar</i>	Identificar las diferencias entre el patio de la escuela primaria y el patio de la telesecundaria mediante la comparación de estos espacios para reconocer sus aspectos agradables o desagradables.
<i>Conceptualizar</i>	<i>Imaginar</i>	Proporcionar información acerca de aspectos relevantes en el diseño del espacio exterior en las escuelas para conceptualizar su importancia. Contenidos abordados: el entorno natural, la importancia del patio escolar, tipos de mobiliario exterior y ejemplo de escuela construida con materiales reciclados.
	<i>Definir</i>	Realizar propuestas sobre el patio escolar y el mobiliario exterior acordes a la información recibida y a las necesidades de su escuela.
<i>Aplicar</i>	<i>Practicar</i>	Aplicar la información obtenida en la etapa anterior mediante el trazo de los elementos en el espacio exterior para dimensionar dichos elementos en el espacio físico.
	<i>Extender</i>	Ilustrar los resultados de la subetapa anterior en una planta de conjunto.
<i>Evaluar</i>	<i>Pulir</i>	Evaluar las propuestas de aplicación mediante su comparación.

Fuente: elaboración propia.

Para llevar a cabo las diversas estrategias didácticas que se planearon dentro del ciclo de aprendizaje del 4 MAT se utilizaron: el mobiliario de la escuela (sillas y mesas de trabajo), material de papelería (lápices, pintura acrílica, pinceles, colores, plumones y regla), además de material de uso arquitectónico, como plantillas de mobiliario a escala. Para las dinámicas de las subetapas *practicar* y *extender* de la metodología se empleó la técnica de diseño en maquetas volumétricas de un aula, así como el dibujo sobre plantas de conjunto de la telesecundaria elaboradas previamente. Para la actividad de la segunda sesión que se llevó a cabo en el exterior de las aulas se utilizaron instrumentos de trazo y medición como un flexómetro de 5 m y una cinta métrica de 50 m, cinta de rafia y cal.

Primera sesión de la intervención educativa: diseño del espacio interior

Se llevó a cabo el 21 de abril del 2023 con la participación de cinco estudiantes de la Telesecundaria Galea, el profesor y el equipo de investigación. Para la subetapa de *conectar* se diseñó un cuestionario con preguntas abiertas, el cual se aplicó a las y a los alumnos en su aula de clases (tabla 3).

El propósito de este instrumento fue conocer las experiencias previas que tuvieron los y las escolares en los espacios educativos donde cursaron el preescolar y la primaria, y hacerlos recordar aspectos ambientales, estéticos y de confort que experimentaron para compararlos con el espacio actual. Lo anterior se llevó a cabo tomando como referencia la teoría del aprendizaje experiencial de David Kolb, en la cual se basa el modelo 4 MAT. Esta teoría establece que el aprendizaje es un proceso continuo acerca de cómo se percibe la realidad y cómo se procesa la información, en el que se involucran sentimientos, sensaciones y observación reflexiva (Garza, 2022).

Tabla 3. *Cuestionario diseñado para la etapa comprender (subetapa conectar)*

Objetivo: recordar las aulas de los espacios educativos en los que han estudiado y posteriormente contestar las siguientes preguntas:

- De las aulas en las que has estudiado, ¿cuál te ha gustado más?
- ¿Qué forma tenía el espacio?
- ¿Cómo era la iluminación?
- ¿De qué color estaban pintadas las paredes?
- ¿Había ruido alrededor del aula o era un espacio tranquilo?
- ¿Era un espacio flexible, es decir, tenía varios usos o sólo uno?
- ¿Había contacto con la naturaleza?
- ¿Qué otros elementos había en el interior del aula?

Fuente: elaboración propia.

La etapa de conceptualización (subetapas: *imaginar* y *definir*) se desarrolló en dos momentos: primero se presentaron láminas en versión Power-Point con el tema de los factores del espacio escolar que influyen en el aprendizaje. Lo anterior, para favorecer el aprendizaje bajo una perspectiva constructivista (Ortiz, 2015); es decir, se buscó que los estudiantes recibieran la información hasta que la asimilaran durante las diversas etapas de la experiencia didáctica la cual llegaron a comprender plenamente. Se explicó la teoría del color, la iluminación natural, la ventilación en el aula, el entorno natural, el ruido y sus efectos en el ambiente dentro del aula. Asimismo se sensibilizó a los alumnos sobre la importancia del mobiliario y las características que debe tener para ser un elemento que ayude a la socialización y al trabajo en equipo.

Finalmente se abordó el tema del “aula del futuro”, entendida en su dimensión arquitectónica como un espacio físico en el que el mobiliario, así como determinados recursos y equipamientos tecnológicos, generan un entorno educativo abierto, flexible, versátil, colaborativo e innovador, que

sustituye al aula tradicional (Hilario *et al.*, 2022). El aula del futuro o *future classroom lab* (FCL) es un proyecto diseñado por European Schoolnet que redefine el aula en seis zonas de aprendizaje: crear, intercambiar, desarrollar, interactuar, presentar e investigar (Gómez *et al.*, 2022) las cuales pueden ubicarse en un mismo espacio flexible. Esta propuesta de aula se consideró como una opción viable para habilitar el aula de usos múltiples de la escuela, obra que se encuentra inconclusa actualmente.

Se continuó con la actividad en el espacio de usos múltiples con la intención de que las y los estudiantes dimensionaran el área y aportaran propuestas para su uso. Durante esta dinámica se les motivó a que tuvieran una participación activa, ya que este espacio había sido priorizado de acuerdo con el plan de necesidades expresadas por los profesores, el supervisor del área y los padres de familia para elaborar su diseño y gestionar su construcción en un corto tiempo ante diferentes instancias.

En la tercera etapa del ciclo 4 MAT (subetapas: *practicar* y *extender*) se trabajó con una maqueta volumétrica, que se realizó previamente por el equipo técnico, la cual representa el espacio del aula de usos múltiples. Las actividades de esta etapa consistieron en mostrar los conceptos relacionados con la teoría del color y pintar las paredes de la maqueta. Se dejó a elección de los estudiantes la selección del color y del amueblado del espacio, para lo cual se les proporcionaron plantillas con mobiliario que facilitara y agilizara la dinámica de trabajo. Esta actividad se planeó para fomentar el trabajo colaborativo y evaluar el aprendizaje de los conceptos compartidos en la sesión teórica.

Segunda sesión de la intervención educativa: diseño del espacio exterior

Esta sesión se llevó a cabo el 27 de abril de 2023 con la participación de cinco estudiantes, el profesor y el equipo de investigación. Para la etapa del 4 MAT *comprender* (subetapa: *conectar*) se realizó una visita al patio de usos múltiples (cancha) de la escuela primaria de la colonia Galea con la intención de que las y los estudiantes sintieran el espacio, identificaran su tamaño, su forma y su entorno, para que pudieran compararlo con el patio de su escuela, aún no definido ni construido.

Posteriormente se les aplicó un cuestionario para identificar su percepción vivencial de la actividad (tabla 4) y evaluar los resultados y ponerlos en práctica en el proceso de diseño del patio de usos múltiples de la telesecundaria.

Tabla 4. *Cuestionario diseñado para la etapa comprender (subetapa conectar)*

Objetivo: observar el patio de la escuela primaria y posteriormente contestar las siguientes preguntas:

- ¿Te gusta el patio de la escuela primaria?
- ¿Qué es lo que más te agrada de ese espacio?
- ¿Hay algo que no te haya gustado de ese espacio?
- ¿Consideras que le hace falta algo a ese espacio? Si contestaste que sí, especifica qué.
- ¿Hay árboles o vegetación en ese patio?
- ¿Consideras importante contar con un espacio para convivir con tus compañeros fuera del aula?
- ¿Cuánto tiempo pasas al exterior de tu aula?

Fuente: elaboración propia.

Para la etapa de conceptualización (subetapas *imaginar* y *definir*) se elaboró material didáctico con una presentación digital, donde se destacaron aspectos relevantes a considerar en el diseño de patios escolares. Se mostró a los y a las estudiantes imágenes con opciones de mobiliario exterior, así como el ejemplo de una escuela construida con material reciclado, como una alternativa de construcción sustentable.

En la etapa de aplicación (subetapas *practicar* y *extender*) los y las estudiantes trazaron sobre el terreno la cancha o plaza cívica, unas gradas y un árbol, tomando de referencia las medidas de la planta de conjunto del plano del anteproyecto diseñado.

La actividad final de esta segunda sesión de la intervención educativa consistió en reproducir en una planta de conjunto del anteproyecto los elementos trazados en el patio. Además, se les solicitó a los estudiantes que colocaran elementos en el espacio exterior, tales como jardines, árboles, mesas, etcétera, para lo cual se les proporcionaron las plantas arquitectónicas impresas, plantillas de mobiliario a escala, así como plumones y colores.

Tercera sesión de la intervención educativa: evaluación de las propuestas

Esta sesión se llevó a cabo el 4 de mayo de 2023 con la participación de cuatro estudiantes. El objetivo de esta sesión fue realizar la evaluación de las

dos sesiones anteriores (subetapa: *Pulir*) para valorar las propuestas de la etapa de aplicación mediante la comparación de las mismas y con ello cumplir con objetivo establecido en el ciclo de aprendizaje para esta subetapa que es analizar lo aprendido.

Tras obtener la información de las tres sesiones que contempló la intervención educativa, se analizaron los datos, las fotografías, los videos, las maquetas y los planos elaborados por los y las estudiantes para después presentar los resultados y discutir, de forma de narrativa, los principales ejes temáticos.

Resultados

En la primera sesión de la intervención educativa implementada se pudo observar que los y las estudiantes brindaron poca información en el cuestionario que se les aplicó. Algunas y algunos de ellos, en términos generales, expresaron lo siguiente: “Las aulas donde estudié eran de material y todo me gustó”; la mayoría no manifestó desagrado por los espacios educativos donde habían estudiado. Ante las limitaciones de lo escrito en el cuestionario, se procedió a indagar con preguntas directas a los y a las estudiantes acerca de los aspectos negativos que identificaban en sus aulas escolares, lo que generó que tuvieran confianza y pudieron expresar lo siguiente: “En el aula donde estudié la primaria, construida con tabique rojo y concreto en el techo, hacía mucho calor; a veces nos faltaba más aire”. Otro comentario en este sentido fue éste: “Las aulas de concreto también son calurosas, aunque no tanto como las de lámina” (figura 4).

Con respecto a los resultados más relevantes de la etapa de conceptualización, donde la actividad estuvo enfocada en que los y las estudiantes brindaran opciones sobre los usos más adecuados para diseñar el aula de usos múltiples, se tuvieron opiniones variadas, dadas las necesidades que tiene actualmente la institución. De las más mencionadas fueron: como aula para danza, para la práctica de la banda de guerra y como salón de música; todas ellas actividades extracurriculares que son de agrado de los y las estudiantes. Otras opiniones fueron: para computación y como espacio para las asambleas de padres de familia. También se mencionó la necesidad de

acondicionar un espacio para el laboratorio, la dirección; una sala de lectura, una biblioteca y un aula de enseñanza.

En la figura 5 se muestran las actividades llevadas a cabo con los estudiantes para definir las aplicaciones que ellos consideran darle al espacio de usos múltiples, cuya construcción está detenida por falta de recursos económicos.

Figura 4. *Actividades de la primera etapa 4 MAT: experimentar*

Etapa 4 MAT: experimentar
Subetapas

Conectar



Examinar



Fotografías: Grecia Aguilar.

Figura 5. *Actividades para definir el diseño del aula de usos múltiples*

Etapa 4 MAT: conceptualizar
Subetapas

Imaginar



Definir



Fotografías: Grecia Aguilar.

Con lo anterior, se identificaron las necesidades espaciales que tiene la telesecundaria y se llegó a la conclusión de que el diseño y posterior construcción de este espacio de usos múltiples, ayudaría en gran medida para tener una

infraestructura con las condiciones de confort y funcionalidad que repercutan en el aprendizaje de los y las estudiantes, como lo sustentan trabajos como el de Mora (2010) que retoman el enfoque holístico de la psicología del espacio (Moles y Rohmer, 1998, cit. en Amann, 2016) estableciendo que existe una relación directa entre la cualidad espacial y el aprendizaje. En el mismo sentido, Amann (2016) sostiene que, desde el punto de vista arquitectónico, existe una relación entre espacio educativo, espacio escolar y acción pedagógica.

En la etapa de aplicación, tercera del ciclo 4 MAT, se puede señalar que el material didáctico empleado, así como la técnica de maquetas, resultaron de mucha ayuda al facilitar el desarrollo de la actividad y lograr una mayor participación de los y las estudiantes, a la vez que se observó interés y entusiasmo en las actividades prácticas. Sobre la maqueta los alumnos pintaron con colores claros los muros del aula, lo que muestra lo aprendido en la sesión teórica, en la que se les hizo saber que este tipo de colores genera concentración, armonía y tranquilidad. En cuanto a la ambientación interior del espacio, se logró que visualizaran la forma como podría quedar amueblado. Uno de los estudiantes sugirió que era necesaria un aula de música con un mueble para guardar los instrumentos, así como áreas para las computadoras y una sala de lectura.

En la figura 6 se observan imágenes con la participación de los y las estudiantes y la maqueta ambientada del espacio interior del aula de usos múltiples, donde aplicaron los conceptos aprendidos.

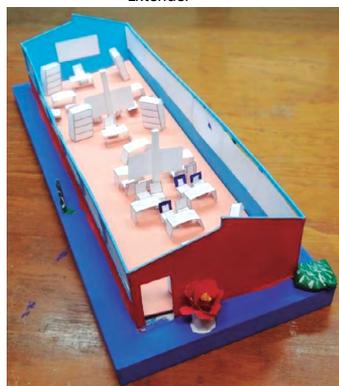
Figura 6. *Diseño del espacio interior del aula de usos múltiples*

Etapa 4 MAT: *aplicar*
Subetapas

Practicar



Extender



La segunda sesión de la intervención educativa aportó datos para el diseño de los espacios exteriores de la escuela telesecundaria. Las respuestas dadas al cuestionario aplicado a los y a las estudiantes reflejan que pudieron identificar las diferencias entre el patio de la primaria y su patio. Los y las estudiantes señalaron aquellas cosas que les gustan de la escuela primaria visitada y que su patio no tiene, así como también mencionaron elementos que les gustaría tener en su patio escolar cuando sea construido.

En las figuras 7, 8 y 9 se muestran las actividades realizadas de las etapas experimentar, conceptualizar y aplicar, acordes con la metodología del 4 MAT, con las que se pudo obtener información para el diseño de los espacios exteriores de la Escuela Telesecundaria de Galea.

Después de haber realizado las actividades para experimentar y conceptualizar el espacio exterior, la mayoría de los y las estudiantes expresó que era importante que en la escuela hubiera un lugar para convivir con sus compañeros fuera del aula. Lo que no les agrada es que el terreno actual donde realizan actividades deportivas y de convivencia está desnivelado y hay muchas piedras y espinos, por lo que no se puede jugar con la pelota, ya que en varias ocasiones las pelotas se han dañado debido a las condiciones mencionadas.

Figura 7. *Actividad para el diseño del espacio exterior de la Escuela Telesecundaria de Galea*

Etapa 4 MAT: *experimentar*
Subetapas

Conectar



Examinar



Fotografías: Grecia Aguilar.

Figura 8. Sesión teórica para que los estudiantes conceptualizaran el espacio exterior

Etapa 4 MAT: conceptualizar
Subetapas

Imaginar



Definir



Fotografías: Grecia Aguilar.

Figura 9. Trazo del patio de usos múltiples en el terreno y sobre el plano arquitectónico

Etapa 4 MAT: conceptualizar
Subetapas

Practicar



Extender



Fotografías: Grecia Aguilar.

En cuanto a sus gustos y sus preferencias sobre cómo desearían que fuera su patio escolar, algunos de sus comentarios fueron los siguientes: “que tenga árboles frutales que den sombra”, “que tenga mesas para comer y jugar”, que tenga “un huerto”, “que haya gradas y bancas”.

La figura 10 muestra la etapa de aplicación donde los y las estudiantes plasmaron cómo les gustaría que fuera su patio escolar, el ambiente en el exterior de su escuela, los espacios interiores de las aulas y el salón de usos múltiples.

Figura 10. *Planos ambientados con las preferencias de los estudiantes de su espacio exterior*

Etapa 4 MAT: *experimental*
Subetapas



Fotografías: Raymundo Cruz.

La implementación de la intervención educativa cumplió con los propósitos planteados en las sesiones dedicadas al diseño del espacio interior y el espacio exterior de la Escuela Telesecundaria de Galea. Para la etapa de evaluación en la tercera sesión no estuvieron presentes todos los y las estudiantes que participaron en las sesiones anteriores; sólo asistieron cuatro, quienes no mostraron mucho interés en la actividad, motivo por el cual la evaluación de la intervención educativa no se llevó a cabo como se había programado.

Las cuatro etapas que comprende el ciclo de la metodología 4 MAT fueron implementadas a lo largo de la investigación, por lo que se puede decir que se logró el propósito de la intervención educativa; sin embargo, debido a la dinámica escolar de la Telesecundaria de Galea, las actividades planeadas tomaron más tiempo de lo proyectado debido en gran medida a que, por tratarse de adolescentes, éstos perdían con facilidad el interés por lo que estaban realizando, aunado a las condiciones ambientales de las aulas donde toman sus clases.

Por otro lado, el tema del espacio escolar es complejo para ser abordado en tres sesiones, por lo que se considera necesario extender la última etapa del ciclo y reforzar el tema en futuras sesiones para que los estudiantes tengan un aprendizaje significativo.

Además de que los y las estudiantes conocieran la influencia que tiene el espacio físico en el aprendizaje, esta intervención tuvo un propósito de

diseño, el cual se logró al obtenerse opiniones de la comunidad estudiantil para crear ambientes de aprendizaje (aula de usos múltiples, salones, patio escolar, equipamiento exterior).

Discusión

Esta intervención educativa resultó una estrategia apropiada que recurrió a disciplinas como la pedagogía, mediante el uso del método de enseñanza 4 MAT, bajo el cual se establecieron las estrategias didácticas de la intervención, y la arquitectura, al momento de las propuestas de diseño que emanaron de la aplicación de ese método para lograr la participación de la comunidad estudiantil a través de dinámicas activas que permitieron sensibilizar y conceptualizar la importancia que tiene el espacio físico en el aprendizaje de los y las estudiantes. Lo anterior concuerda con lo que mencionan González y Abad (2020), quienes consideran que el aula es un elemento facilitador del aprendizaje que se caracteriza por combinar variables físicas, ambientales y espaciales.

Por otra parte, los psicólogos ambientales Woolner, McCarter, Wall y Higgins (2012) plantearon la necesidad de la participación de los y las estudiantes como investigadores en los procesos de diseño de sus entornos educativos. Esta estrategia se consideró en la intervención educativa “¿Tu escuela te ayuda a aprender?”, con el afán de que la comunidad escolar aportara ideas para el diseño del proyecto de mejora de sus instalaciones, además de concientizarlos acerca de la importancia que tiene el espacio físico en el aprendizaje.

Los resultados que aporta esta investigación establecen que una interacción idónea entre educación y arquitectura lleva consigo la construcción de centros escolares con espacios que propicien el desarrollo de modelos educativos innovadores (Amann, 2016). Este tipo de intervenciones se considera necesario en comunidades estudiantiles, como la Telesecundaria Galea que actualmente carece de una infraestructura adecuada.

El propósito final de esta intervención fue que la comunidad estudiantil aportara propuestas para el diseño de su escuela mediante la identificación de factores físicos de los espacios educativos que influyen en el apren-

dizaje, el cual se cumplió con apoyo de las opiniones de los y las estudiantes quienes seleccionaron los colores para sus aulas, así como mobiliario y áreas exteriores (jardines, canchas deportivas, gradas, etcétera). De igual forma, aportaron ideas para el uso de los espacios basadas en las necesidades reales que la comunidad identificó y expresó durante la intervención.

Agradecimientos

La autora agradece al CONAHCYT por la beca de estudios en la Maestría Gestión de proyectos para el Desarrollo Solidario, Instituto Politécnico Nacional CIIDIR-Oaxaca. A los coautores a la COFAA del IPN por la beca de exclusividad otorgada, y a la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) por el financiamiento del proyecto SIP20211389, del cual se derivó este trabajo. A los maestros y estudiantes de la Escuela Telesecundaria de la colonia Galea, en Ocotlán de Morelos, Oaxaca, por su disponibilidad para la realización de este trabajo.

Referencias

- Amann Vargas, B. (2016). Educación para el desarrollo sostenible (EDS) y arquitectura escolar: el espacio como reactivo del modelo pedagógico. *Bordón*, 68(1), pp. 145-163. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2016.68109>.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., y Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.
- Baum, E. J. (2018). Learning space design and classroom behavior. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 9(17), pp. 34-54. <https://doi.org/10.26803/ijlter.17.9.3>.
- Garza Rodríguez, L. P. (2022). Aplicación del modelo 4 MAT en educación de nivel superior en modo virtual. *Company Games & Business Simulation Academic Journal*, 2(1), pp. 7-25.
- Gómez-García, M., Alameda Villarrubia, A., Poyatos Dorado, C., y Ortega Rodríguez, P. (2022). El aula del futuro: un proyecto para la redefinición pedagógica de los centros educativos. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 98(36.2), pp. 133-148. <https://doi.org/10.47553/rifop.v98i36.2.94188>.
- González-Zamar, M. D., y Abad-Segura, E. (2020). Diseño del espacio educativo univer-

- sitario y su impacto en el proceso académico: análisis de tendencias. *Revista de Estilos de Aprendizaje*, 13(25), pp. 1-13. <https://doi.org/10.55777/rea.v13i25.1512>.
- Hilario Silva, P., Luengo, J. A., Moya Muñoz, C., y Valladares Cortés, M. (2022). Implantación y desarrollo de un aula del futuro en un centro educativo: estudio del proyecto del IES Francisco Giner de los Ríos, de Alcobendas. *Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa*, (50), pp. 23-46. <https://doi.org/10.15366/tarbiya.2022.50.001>.
- Hopland, A., y Nyhus, O. H. (2015). Does student satisfaction with school facilities affect exam results? An empirical investigation. *Facilities*, 33(13-14), pp. 760-774. <https://doi.org/10.1108/F-09-2014-0076>.
- McCarthy, B. (1987). *The 4 MAT System: Teaching you Learning Styles with Right/Left Mode Techniques*. <https://www.jstor.org/stable/20198090>.
- (2013). *Modelo 4 MAT: ocho pasos para planificar una enseñanza más dinámica y atractiva*. About Learning.
- Mendoza, L. (2016). Con carencias cuatro de cada cinco escuelas en Oaxaca. *Noticias Voz e Imagen de Oaxaca*. <http://www.nvnoticias.com/nota/30090/>.
- Miranda, F. (2018). Infraestructura escolar en México: brechas traslapadas, esfuerzos y límites de la política pública. *Perfiles Educativos*, 40(61), pp. 1-26.
- Mokhtar Noriega, F., Jiménez Rodríguez, M. A., Heppell, S., y Segovia Bonet, N. (2016). Creando espacios de aprendizaje con los alumnos para el tercer milenio. *Bordón*, 68(1), pp. 61-82. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2016.68104>.
- Mora, F. (2010). *Neuroeducación: sólo se puede aprender aquello que se ama*. Alianza Editorial.
- Ortiz Granja, D. (2015). El constructivismo como teoría y método de enseñanza. *Sophia. Colección de Filosofía de la Educación*, (19), pp. 93-110. <https://doi.org/10.17163/soph.n19.2015.04>.
- Pericacho, F. J. (2022). Implicaciones didácticas del espacio escolar. *Revista Perfiles*, 45(180), pp. 91-105.
- Taylor, S., y Bodgan, R. (1990). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós Studio.
- Teba-Fernández, E. M., Caballero-García, P. Á., y Bueno-Villaverde, Á. (2020). SHINE®: modelo para la transformación de espacios educativos. *Revista de Estilos de Aprendizaje*, 13(25), pp. 14-28. <https://doi.org/10.55777/rea.v13i25.1499>.
- Woolner, P., McCarter, Sh., Wall, K., y Higgins, S. (2012). Changed learning through changed space: When can a participatory approach to the learning environment challenge preconceptions and alter practice? *Improving Schools*, 15(1), pp. 37-45. <https://doi.org/10.1177/1365480211434796>.

VII. Energía solar fotovoltaica en Potrero de la Palmita, Nayarit, México: un enfoque alternativo de desarrollo rural adoptando tecnologías energéticas no contaminantes

JAIME ALEJANDRO GUEVARA-VALDEZ*

MARÍA ELENA SERRANO-FLORES**

ÓSCAR GOIZ-AMARO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.07>

Resumen

La energía solar fotovoltaica es un recurso renovable no contaminante que puede satisfacer la demanda energética de hogares, empresas e industrias, reduciendo dependencia de combustibles fósiles y huella de carbono. Es una opción viable para proporcionar electricidad en regiones y comunidades rurales en las cuales se dificulta el acceso. Además, mejora la calidad de vida rural y facilita la implementación de tecnologías para riego y otros procesos productivos y actividades económicas. El Proyecto de Servicios Integrales de Energía, implementado por el Banco Mundial en 40 comunidades rurales en 2015, pretendió impulsar el desarrollo socioeconómico y evitar contaminantes a la atmósfera. Una de las comunidades rurales beneficiadas de este proyecto fue Potrero de la Palmita, una comunidad rural indígena nayarita mexicana. En esta investigación se evaluó el uso de la energía solar fotovoltaica en

* Doctor en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Autor de correspondencia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-9308> ; Autor de correspondencia: jalejandro3000@gmail.com

** Doctora en Agroecología, Sociología y Desarrollo Rural Sustentable por la Universidad de Córdoba (España) y profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (ciemad) del Instituto Politécnico Nacional (ipn), México. orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9759-3695>

*** Doctor en Electrónica del Estado Sólido. Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7116-282X>.

esta comunidad, identificando limitaciones y oportunidades de la tecnología a través de entrevistas a una muestra de la población y a líderes clave de la comunidad. Los resultados muestran una alta aceptación del servicio eléctrico para iluminación, pero el costo y las fallas técnicas limitan la satisfacción de otras necesidades tanto domésticas como productivas y de actividades económicas. Por lo tanto, se propone un enfoque de desarrollo rural alternativo que tenga en cuenta necesidades y percepciones de las comunidades rurales para abordar de manera más efectiva los desafíos del desarrollo rural.

Palabras clave: *energías renovables, bienestar socioeconómico rural, electrificación rural, percepción del actor social, comunidad huichol wixárika.*

Introducción

En la actualidad, la búsqueda y el uso de fuentes de energía sostenibles se ha convertido en una prioridad global. El agotamiento de los recursos fósiles, junto con los efectos negativos del cambio climático, ha impulsado la necesidad de adoptar fuentes de energía renovable y no contaminante.

Actualmente, la producción de electricidad a partir de fuentes de energía convencionales es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo, especialmente en las economías en desarrollo. Alrededor de 40% de la energía primaria mundial se utiliza para generar electricidad. Esto significa que las centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles emiten grandes cantidades de gases nocivos para el ambiente, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂) (Shahsavari y Akbari, 2018).

Los sectores de electricidad y calor son responsables de 42% de las emisiones globales de dióxido de carbono. Estas cifras subrayan la necesidad de buscar alternativas más limpias y sostenibles para la producción de electricidad y para la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles (Shahsavari y Akbari, 2018).

En este sentido, la energía solar fotovoltaica ha sido considerada a nivel mundial como un recurso energético sostenible, ya que ha demostrado ser una solución viable y efectiva para abordar los desafíos energéticos y am-

bientales que enfrenta el planeta. Esta energía destaca por su baja huella de carbono, y al no emitir gases de efecto invernadero durante su operación, contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático y a la reducción de la contaminación atmosférica.

Además, la abundancia y la disponibilidad de la radiación solar en todo el mundo la convierte en un recurso energético inagotable. A diferencia de los combustibles fósiles, que tienen reservas limitadas y se agotarán en algún momento, el sol es una fuente de energía renovable que siempre estará presente. Esto brinda una oportunidad única para lograr una transición hacia un sistema energético más sostenible y menos dependiente de fuentes energéticas externas.

Otro de los aspectos destacados de la energía solar fotovoltaica es su capacidad para electrificar comunidades rurales, ya que en muchas partes del mundo, especialmente en áreas remotas y geográficamente difíciles de acceder, el acceso a la electricidad es limitado o inexistente. En este sentido, la energía solar fotovoltaica puede superar esas limitaciones y proporcionar energía limpia y asequible a estas comunidades que a su vez permitirá un impacto significativo en la calidad de vida de las personas, ya que brinda acceso a servicios básicos esenciales, como iluminación en el hogar, refrigeración, agua potable, entre otros (Lazdins *et al.*, 2021).

Además, la implementación de energía solar fotovoltaica en comunidades rurales ayudaría al desarrollo socioeconómico, ya que la energía solar puede utilizarse en actividades productivas como la agricultura, la ganadería y la industria, mejorando la productividad y la sostenibilidad de estos sectores (FAO, 2021; Van Campen *et al.*, 2000). Por otro lado, la disponibilidad de energía solar también coadyuvaría a la mejora de las condiciones de las instituciones de educación y la salud en estas comunidades, al proporcionar electricidad a escuelas y centros de salud.

En el plano internacional, organismos como el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) han reconocido la importancia de la energía solar fotovoltaica como una opción respetuosa con el ambiente y fundamental para abordar los desafíos globales relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad.

El PNUD, por ejemplo, ha promovido activamente la adopción de energías renovables, incluida la energía solar fotovoltaica, para alentar la elec-

trificación rural como parte de su agenda de desarrollo sostenible, enfocada en la erradicación de la pobreza, en la educación de calidad y en la salud y el bienestar (PNUD, 2020).

Asimismo, la FAO ha destacado el papel de la energía solar fotovoltaica en la agricultura y en la seguridad alimentaria. La disponibilidad de electricidad gracias a la energía solar facilita la implementación de sistemas de riego y bombas de agua, el uso de tecnología agrícola eficiente y el acceso a maquinaria y equipos (FAO, 2018). Estas mejoras aumentan la productividad agrícola y promueven la resiliencia ante los desafíos climáticos, lo que contribuye directamente a la lucha contra el hambre, el logro de la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola sostenible (FAO, 2021; Van Campen *et al.*, 2000).

Es así como la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como un recurso energético clave y de vital importancia a nivel mundial, gracias a sus características de bajo impacto ambiental y a su capacidad para llevar energía a comunidades rurales. Además, desde el enfoque mundial, su uso como herramienta de desarrollo sostenible es fundamental para alcanzar un futuro energético limpio y sostenible para el planeta (FAO, 2021; PNUD, 2020).

Existen diferentes enfoques para el desarrollo que han sido debatidos y aplicados a lo largo del tiempo. Dos de éstos son el convencional vertical y el centrado en el actor social. El enfoque convencional vertical se caracteriza por una estructura jerárquica y una intervención *top-down*; es decir, son impulsados y dirigidos por autoridades gubernamentales, instituciones externas u organismos internacionales (Montecinos, 2021). En este enfoque, siguiendo al autor, se presenta una limitación importante al ser sectorial y no contemplar un modelo integral ni la participación de los actores sociales. Esto conlleva una debilidad institucional que impide convertir el discurso *bottom-up* en una capacidad efectiva para que los actores sociales puedan influir en el diseño y la ejecución de proyectos (Montecinos, 2021).

Por otro lado, hay enfoques que promueven, entre otras acciones, la gobernanza participativa y la toma de decisiones colectiva (Frediani *et al.*, 2019). Entre estos enfoques se encuentra, en particular, uno que se centra en el actor social (Long, 2001). Éste se basa en la participación y en el em-

poderamiento de los actores sociales locales, como comunidades rurales o indígenas, agricultores y grupos de interés. Este enfoque promueve, además, la valoración de los conocimientos, la capacidad y las habilidades comunitarias e individuales, así como los saberes locales. En particular, este enfoque busca fortalecer las capacidades de agencia y de interfaz, así como fomentar la organización comunitaria y considerar las dimensiones sociales, culturales y de heterogeneidad, teniendo presente, en el proceso de desarrollo rural, al ambiente. Además, busca que los actores sociales sean protagonistas del cambio y que participen en el diseño, la implementación y la evaluación de las intervenciones (Long, 2001).

A continuación se describen aspectos sobre la energía solar fotovoltaica y su influencia en el ambiente y en el desarrollo rural. También se describe un proyecto que se llevó a cabo en 2015 que permitió electrificar a 40 comunidades rurales en México. Siendo la comunidad Potrero de la Palmita beneficiada de este proyecto se describe a esta localidad como lugar de estudio. Después se pasa a la sección de materiales y métodos para seguir a la sección de resultados y de discusión y terminar con las conclusiones de este trabajo.

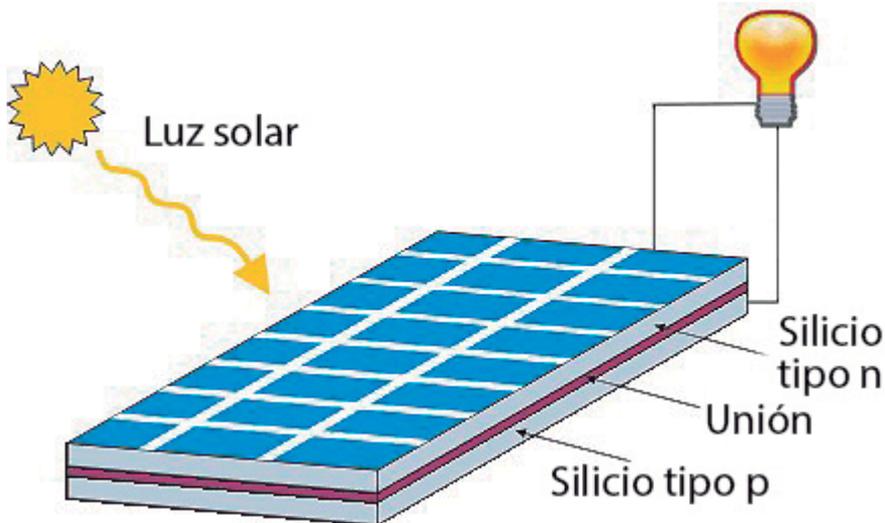
Energía fotovoltaica, medio ambiente y desarrollo rural

El principio fundamental de la energía solar fotovoltaica radica en la captación de la radiación solar mediante células fotovoltaicas presentes en los paneles solares. Estas células convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, sin requerir combustión ni generar emisiones contaminantes (véase figura 1). Esta tecnología es una opción respetuosa con el ambiente, en comparación con las fuentes de energía convencionales.

Al optar por la energía solar fotovoltaica, se evita la emisión de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global y al cambio climático. El fenómeno del aumento del calentamiento global causado por las emisiones de gases de efecto invernadero ha degradado el ambiente y desequilibrado la atmósfera natural, ambos inexistentes en el pasado, antes de la Revolución industrial (Hussain *et al.*, 2020). Las dos razones principales del aumento del CO₂ antropogénico son

la quema de combustibles fósiles a través de las actividades humanas y los cambios en el uso de suelo que contribuyen al calentamiento global desde mediados del siglo xx (Hussain *et al.*, 2020). Estos gases retienen el calor en la atmósfera, lo que provoca efectos perjudiciales como el aumento de las temperaturas, el derretimiento de los casquetes polares, el incremento del nivel del mar, fenómenos climáticos extremos y otros impactos negativos en los ecosistemas y en la vida humana.

Figura 1. Diagrama básico del principio fotovoltaico



Fuente: *Energía solar fotovoltaica: principio físico* (UNAM, 2010).

Se estima que si las temperaturas promedio aumentan más de 2 °C, el mundo sufrirá desastres naturales más graves, sequías más prolongadas, la pérdida de zonas agrícolas y una enorme disminución de especies (Aliaga Lordemann y Paredes Alanes, 2010). Además, el derretimiento del permafrost,¹ que ha mantenido billones de toneladas de materia orgánica basada en carbono en el suelo, liberará grandes cantidades de gases de efecto

¹ *Permafrost* es aquella parte profunda del suelo de las regiones frías permanentemente heladas o congeladas durante al menos dos años, pero no permanentemente cubiertas de hielo o nieve, conformada por tierra, rocas y sedimentos amalgamados (<https://www.iberdrola.com/que-es-permafrost>).

invernadero debido al aumento de las temperaturas. Como resultado, varios sistemas naturales como los manglares, los arrecifes de coral, los bosques boreales, las regiones árticas, los ecosistemas alpinos, los pastizales y los humedales de las praderas enfrentarán dificultades para sobrevivir (Shahsavari y Akbari, 2018). Al reducir la generación de electricidad basada en combustibles fósiles se disminuye significativamente la contribución a este problema global, mitigando sus efectos negativos.

También, al no emitir contaminantes atmosféricos la energía solar fotovoltaica evita otros impactos ambientales asociados con la extracción, el transporte y la quema de combustibles fósiles, como derrames de petróleo, contaminación del agua, deforestación y degradación del hábitat natural. Por el contrario, la energía solar aprovecha un recurso abundante y renovable: la radiación solar, sin generar residuos peligrosos ni tóxicos durante su funcionamiento.

La adopción de la energía solar fotovoltaica desempeña un papel fundamental en la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y en la disminución de la huella de carbono. Estos dos aspectos están estrechamente relacionados, ya que, al reducir la necesidad de utilizar recursos no renovables, disminuye la vulnerabilidad ante los cambios en los precios internacionales del petróleo y el gas y fortalece la autosuficiencia energética. De esta manera, la transición hacia la energía solar fotovoltaica no sólo promueve la sostenibilidad ambiental, sino que también aporta beneficios económicos y mejora la seguridad energética.

La transición energética es un proceso global que busca formas alternativas en que se produce y se consume la energía, con el objetivo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático. Esta transición implica un cambio hacia fuentes de energía más limpias, sostenibles y renovables, como las energías solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica (ENEL, 2023).

De este modo, en la región de América Latina esta transición ha mostrado una gran aceptación. Entre los mayores productores de energía solar se encuentra Brasil, responsable de 40% de la potencia instalada. Le sigue México, que representa 28%, Chile con 16%, Argentina con 4% y Honduras que representa 3% de la capacidad regional (*National Geographic*, 2022).

Por otro lado, de acuerdo con datos de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2021), la energía solar fotovoltaica tiene un gran potencial para reducir los costos en comparación con otras tecnologías renovables. Esto ha generado un creciente interés especialmente en áreas con abundantes recursos solares. Para poner esto en contexto, en 2020 se registró una disminución anual de 7% en el “coste nivelado de la energía” (LCOE)² solar fotovoltaica a gran escala para servicios públicos que pasó de 0.061 USD/kWh a 0.057 USD/kWh. Esta reducción fue menor en comparación con la disminución de 13% experimentada en 2019; incluso la reducción desde 2010, cuando se tenía un LCOE de 0.381 USD/kWh, hasta 2020, ha sido de 85%. Esta disminución se atribuye principalmente a la notable reducción de los costos totales de instalación, que disminuyeron de 4731 USD/kW a 883 USD/kW en el mismo periodo (IRENA, 2021); así como al aumento sustancial de la capacidad instalada, que pasó de 42 GW en 2010 a 714 GW en 2020.

Además, por cada 1 GW de capacidad adicional de energía renovable que se instale, hay un gran potencial para reducir las emisiones de dióxido de carbono, en promedio, en 3.3 millones de toneladas cada año (Shahsavari y Akbari, 2018). En este sentido, los sistemas fotovoltaicos pueden ahorrar 0.53 kg de emisiones de CO₂ por cada kilovatio-hora de electricidad generada, además, la utilización de sistemas fotovoltaicos puede reducir hasta un máximo de 100 millones de toneladas (t) de CO₂, de 184000 t de SO₂ y de 99000 t de NO_x para 2030. Como consecuencia, debido a las reducciones de NO_x y SO₂, se pueden evitar muchas enfermedades respiratorias graves, de acuerdo con Hosenuzzaman *et al.*, 2015, citados en Shahsavari y Akbari (2018).

En la actualidad, los sistemas de energía solar representan la opción más económica para la implementación de minirredes y la electrificación de áreas rurales remotas y comunidades aisladas. Asimismo, ofrecen una opción atractiva para la expansión de la red en determinados casos de suministro centralizado, especialmente cuando se cuenta con abundantes re-

² El concepto de LCOE (*levelized cost of energy* [coste energético nivelado de la energía]) consiste en calcular el costo promedio total de construir y operar una central eléctrica y dividirlo entre la energía total que será generada durante su vida útil. Es una metodología para calcular el coste por kWh de cada tipología de generación eléctrica.

cursos (Shahsavari y Akbari, 2018); además, disminuye o evita pérdidas asociadas con la transmisión a larga distancia.

Una de las principales ventajas de la energía solar fotovoltaica es su capacidad para generar electricidad localmente, sin necesidad de extender largas líneas de transmisión desde las centrales eléctricas convencionales. Los paneles solares pueden instalarse directamente en los techos de viviendas, edificios públicos y escuelas o en plantas solares en áreas rurales. Además, brinda a las comunidades rurales un acceso autónomo y confiable a la electricidad.

Los beneficios que ofrece la energía solar fotovoltaica en las regiones rurales son diversos y significativos. En términos de calidad de vida, proporciona iluminación adecuada en hogares y escuelas, mejorando las condiciones de estudio y fomentando la educación. Además, facilita el uso de electrodomésticos, conservación de alimentos, herramientas eléctricas y dispositivos de comunicación, mejorando la productividad y la comodidad en el hogar. También brinda oportunidades para implementar servicios básicos de salud, como la refrigeración de medicamentos o el funcionamiento de equipos médicos en centros de salud rurales (Yadav *et al.*, 2019).

En cuanto al desarrollo económico, la energía solar fotovoltaica impulsa la productividad y la diversificación de las actividades económicas, por ejemplo, en la implementación de tecnologías de riego que mejora la productividad agrícola y, por ende, la seguridad alimentaria (Rahman *et al.*, 2022), y apoya los medios de vida de los agricultores (FAO, 2021).

En este tenor, la FAO admite que la solución más viable para reducir la dependencia de combustibles fósiles en los sistemas agroalimentarios y alcanzar, al mismo tiempo, los objetivos de producción alimentaria, es realizar una transición hacia fuentes de energía más sostenibles y renovables (FAO, 2021). Esta idea surge en el Programa 21 de la Conferencia de 1992 de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el cual pretendió fomentar la transición a la problemática energética rural de finales del siglo pasado. De ese modo, la FAO fue designada organismo coordinador del Capítulo 14, correspondiente al fomento de la agricultura y el desarrollo rural sostenibles, que además señaló la necesidad de esa transición como medio para mejorar efectivamente las condiciones socioeconómicas

de las poblaciones rurales, en especial como requisito de un incremento de la productividad y para generar ingresos (Van Campen *et al.*, 2000).

En este sentido, el desarrollo rural en países como México es un desafío complejo (Martínez Chapa y Salazar Castillo, 2022). La población rural suele ser más pobre y tener menos oportunidades que la población urbana. En el caso de México, la población rural representa 21% (INEGI, 2020). De esta población, de acuerdo con el Cuestionario Ampliado del Censo de Población y Vivienda de 2020, unos 23.2 millones de habitantes se auto-identifican como indígenas. Es decir que 87.7% de la población rural en México pertenece a una etnia originaria, mientras que 3.25 millones de habitantes rurales en México manifiestan no pertenecen a ningún pueblo originario. De la población indígena, 87.2% refiere hablar tanto una lengua nativa como español (7.36 millones), en tanto que 866 000 indígenas sólo hablan su lengua natural (INEGI, 2022) (véase tabla 1).

Tabla 1. Estadística a 2020 del Censo de Población y Vivienda 2022

<i>Descripción</i>	<i>Habitantes</i>	<i>Habitantes (porcentaje)</i>
Población total en México	126014024	100.00
Población urbana	99551079	79.00
Población rural	26462945	21.00
Población rural no indígena	3263764	2.59
Población que habla español como lengua materna	102814843	81.59
Población indígena	23199181	18.41
Población indígena que habla lengua original y español	7364645	5.84
Población indígena que habla lengua original y no español	865716	0.687
Población en viviendas indígenas	11800247	9.36
Población afrodescendiente	183671	0.145

Fuente: INEGI (2022).

Las comunidades rurales conformadas por campesinos, indígenas y pequeños propietarios enfrentan dificultades para acceder al abasto de agua, la falta de energéticos a precios competitivos, la desigualdad económica y social, la falta de acceso a la educación, a la salud, a la infraestructura y a los mercados (Martínez Chapa y Salazar Castillo, 2022), así como la discriminación contra las comunidades indígenas, en este sentido, estas comunidades suelen enfrentar adicionalmente la pobreza extrema. Cabe mencionar

que en México, acorde al lineamiento del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), una población se considera rural cuando tiene menos de 2 500 habitantes (INEGI, 2020).

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural³ (Sagarpa, 2015), el término *desarrollo rural* engloba un conjunto de medidas para mejorar la vida y la economía en áreas no urbanas, abarcando casi la mitad de la población mundial. En México, el estancamiento del desarrollo rural afecta a los sectores más vulnerables. Para contrarrestar esta situación el gobierno ha buscado integrar tecnologías tanto para el sector agropecuario y pesquero como para la generación descentralizada de energía mediante recursos renovables, esto es, solar fotovoltaica.

No obstante, el desarrollo rural también implica la conexión entre la población y su entorno cultural y territorial. En países de América Latina, incluido México, modelos pasados de desarrollo, que datan de 1960, han exacerbado la pobreza y la marginación. Estos modelos aplican políticas verticales, como ya se mencionó anteriormente, que no atienden las necesidades reales de las comunidades rurales. En consecuencia, es esencial repensar el enfoque del desarrollo rural, considerando tanto la mejora integral en las áreas rurales como la participación y las necesidades de las comunidades, para lograr un desarrollo auténtico y sostenible (Long, 2001; Terry Gregorio, 2012).

En este sentido, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) sostiene que el avance de las comunidades rurales y, especialmente, indígenas debe involucrar su participación y su comprensión cultural. Agrega que la identidad cultural y el desarrollo socioeconómico sostenible de las comunidades indígenas son fortalezas complementarias, que difieren de los enfoques anteriores, que no consideraban estas particularidades, y reconoce que su cultura es un activo en lugar de un obstáculo para el progreso (Albertos, 2018).

Partiendo de estas ideas, en México se implementó un proyecto nacional promovido por el Banco Mundial junto con el gobierno y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), como entidad facultada para llevar a cabo el proyecto, con la finalidad tanto para dotar de energía eléctrica a 40 comu-

³ En términos generales, para referirse a Sagarpa se utiliza el término mencionado; sin embargo, la denominación formal de esta dependencia es Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

nidades rurales como para mejorar la vida de los habitantes de esas comunidades, según se describe a continuación.

Proyecto de Servicios Integrales de Energía

En México, en 2015 se implementó el Proyecto de Servicios Integrales de Energía (PSIE)⁴ promovido por el Banco Mundial. Tuvo como objetivo principal aumentar el acceso a servicios energéticos eficientes y sostenibles, suministrar energía donde el acceso a la electricidad era limitado o inexistente, mejorar la calidad de vida, promover el desarrollo social y económico y cerrar la brecha de electrificación en comunidades rurales mexicanas, al mismo tiempo que buscaba reducir la contaminación atmosférica mediante energía renovable (Banco Mundial, 2016).

La implementación del proyecto implicó la instalación de un sistema de paneles solares, así como la provisión de equipos y sistemas asociados, tales como baterías de almacenamiento de energía. Estos sistemas, denominados *granjas solares*, se conectaron a una minirred eléctrica con el propósito de abastecer a hogares y a espacios comunitarios en cada una de las comunidades beneficiadas (véase figura 2).

Figura 2. Diagrama de la granja solar



Fuente: adaptación de FreePNG (2023), HelioEsfera (2023) y Julián (2023).

⁴ Sección elaborada a partir de Banco Mundial (2016).

La implementación de una granja solar en cada comunidad rural permitiría, de acuerdo con el reporte de terminación del PSIE del Banco Mundial, proveer electricidad para iluminación, electrificación de viviendas, sistemas de bombeo de agua, entre otros usos, facilitando de este modo el desarrollo socioeconómico de las comunidades y mejorando su bienestar. Además, al utilizar una fuente de energía limpia se contribuye a la preservación del medio ambiente, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Uno de los componentes principales del proyecto se centraba en el uso productivo de la electricidad para fomentar el desarrollo económico local. Sin embargo, éste no se aplicó según lo reportado por el Banco Mundial. El componente era importante, ya que permitiría ayudar a los habitantes a desarrollar actividades económicas.

Además, el proyecto enfrentó desafíos y cambios a lo largo del tiempo desde su concepción en 2008 hasta su culminación en 2015 con la instalación y puesta en marcha de los sistemas solares (véase tabla 2). Por ejemplo, de acuerdo con el informe de implementación, finalización y resultados del Banco Mundial, se logró un incremento de 2.67% en el consumo de electricidad para usos productivos y se desarrollaron nuevas actividades sociales/productivas y microempresas en 15%. Aunque en el informe no se especifica en qué actividades ni en qué comunidades se dieron estos usos y estos incrementos del consumo eléctrico.

Tabla 2. Principales desafíos y cambios que enfrentó el PSIE

<i>Desafíos y cambios del PSIE</i>	<i>Número de hogares electrificados</i>	<i>Capacidad de oferta eléctrica por vivienda</i>	<i>Emisiones no emitidas estimadas</i>
<i>Reducción en el número de hogares electrificados</i>	De 34 000 a 2 235 viviendas	–	–
<i>Aumento de la capacidad de oferta eléctrica</i>	–	De 185 W a 1 054.58 W por vivienda	–
<i>Reducción estimada de GEI⁵</i>	–	–	De 254 000 a 139 000 (tCO ₂ e/año)

Fuente: adaptación de Banco de México (2016).

⁵ GEI: gases de efecto invernadero.

Como consigna la tabla 2, la reducción en la cantidad de hogares electrificados y el aumento de la capacidad de oferta eléctrica por vivienda respondió al cambio de tecnología que se implementó, pasando de ser sistemas individuales solares por vivienda a una granja solar instalada en cada una de las comunidades beneficiadas. En cuanto a la reducción de emisiones estimadas de 139 000 toneladas de CO₂ equivalentes por año, estas representan un estimado equivalente a que dejen de circular alrededor de 28 061 autos durante un año (EPA, 2023).

Por otro lado, el Banco Mundial reportó que la alternativa de la granja solar para electrificar comunidades remotas resultó aproximadamente 40% más económica que la electrificación convencional, de acuerdo con los lineamientos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) para la aprobación de proyectos de inversión. Esto demostró que los sistemas solares fotovoltaicos minirredes eran una mejor opción que la extensión convencional de la red eléctrica (Banco Mundial, 2016). Además, soporta los análisis que realiza IRENA (2021) sobre los LCOE, que manifiestan reducciones importantes en los costos totales de instalación de la energía solar fotovoltaica en los últimos años.

El PSIE se enfocó en proporcionar energía eléctrica a áreas con acceso muy limitado o inexistente, utilizando tecnología fotovoltaica para beneficiar a 40 comunidades rurales, entre ellas a Potrero de la Palmita, en Nayarit, México.

Potrero de la Palmita: comunidad indígena wixárika

La comunidad rural llamada Potrero de la Palmita se localiza en el municipio del Nayar, Nayarit, México. Los pobladores de esta comunidad pertenecen a la etnia wixárika.⁶ El estado de Nayarit, cuya capital es Tepic, se encuentra en el occidente de la República mexicana, entre la Sierra Madre Occidental y el océano Pacífico. Limita al norte con los estados de Sinaloa y Durango, al este con Durango y Jalisco y con una pequeña parte de Zaca-

⁶ Etnia que reside en el oeste central de México, en la Sierra Madre Occidental, principalmente en comunidades y poblados de los estados de Durango, Jalisco, Zacatecas y mayoritariamente en Nayarit. A la etnia y a la cultura wixárika se les conoce como "huichol".

tecas, al sur con Jalisco y al oeste con una pequeña porción de Sinaloa y el océano Pacífico (véase figura 3).

Figura 3. Localización del municipio del Nayar en el estado de Nayarit, en México



Fuente: elaboración con imágenes de Google Earth.

El estado de Nayarit destaca por la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables; contribuye con 9.05% de la generación total de energía eléctrica renovable en México. El estado aporta 2 014.39 GWh/a de energía limpia que se producen en cuatro hidroeléctricas, tres de ellas ubicadas a lo largo del río Santiago que atraviesa el centro de su territorio. Es el segundo estado, después de Chiapas, con mayor generación de energía hidráulica, de acuerdo con el Inventario Nacional de Energías Limpias de Semarnat (2021). Además, Nayarit produce tanto energía geotérmica a partir del corredor del volcán Ceboruco localizado al sur del estado como bioenergía de residuos de caña de azúcar (véase tabla 3).

Tabla 3. Generación de energía eléctrica renovable y limpia en el estado de Nayarit

Tipo de energía limpia	Centros de producción	Capacidad instalada (MW)	Generación (GWh/a)
Hidráulica	4	1 740.98	2 014.39
Biomasa	2	45.36	14.07
Geotérmica	1	52.00	115.49
Total	7	1 838.34	2 143.95

Fuente: adaptación de Semarnat (2021).

A pesar de las condiciones favorables para la generación de energía solar en Nayarit, con radiación mayor al promedio nacional, que es de 5.6 kWh/m² (20.16 MJ/m²), no existen centrales solares fotovoltaicas de alta capacidad que inyecten electricidad a la red eléctrica nacional. Aunque se han implementado sistemas solares fotovoltaicos individuales, no hay una infraestructura solar a gran escala.

En cuanto a Potrero de la Palmita, esta comunidad se encuentra a una altitud de 252 metros sobre el nivel del mar⁷ y se localiza al suroeste del municipio del Nayar y al noreste de la ciudad de Tepic. La comunidad se encuentra a orillas de un sistema hidrológico en el cual convergen los ríos Santiago y Huaynamota, inmerso en un entorno rodeado por el embalse que se conforma por la presa hidroeléctrica Aguamilpa y la imponente Sierra Nayarita al norte y noreste de la localidad (véase figura 4).

Figura 4. Localización de Potrero de la Palmita, Nayarit, México.



Fuente: elaboración con imágenes de Google Earth.

Con aproximadamente 200 viviendas y 700 habitantes, la comunidad Potrero de la Palmita se encuentra en una situación de alta pobreza, marginación y vulnerabilidad (Sedesol, 2010), enfrentando una serie de desafíos en su desarrollo socioeconómico y en su preservación cultural. A pesar de ello, los wixaritari de Potrero de la Palmita han demostrado una notable

⁷ Referencia que se obtiene de los datos que proporciona Google Earth al posicionarse en una ubicación en particular.

resiliencia y han logrado mantener sus tradiciones, basando sus actividades económicas en la agricultura, la pesca, la artesanía y el turismo étnico. También, estos pobladores se enfrentan a limitaciones en cuanto a acceso a servicios básicos, alimentación y agua potable, para riego o usos múltiples.

A pesar de las limitaciones de recursos y de las condiciones climáticas adversas, la agricultura desempeña un papel fundamental en la comunidad ya que ahí se cultiva maíz, frijol, calabaza, chile y otros productos agrícolas para autoconsumo. Además de la agricultura, la pesca en el río Santiago es una actividad económica importante para la comunidad. Mediante técnicas tradicionales aprovechan los recursos acuáticos de la región, lo que les permite obtener alimento y generar ingresos adicionales vendiendo el pescado en mercados locales. Los pobladores también promueven las visitas de turistas como una forma de generar ingresos y ofrecen a los visitantes la oportunidad de aprender sobre la cultura wixárika, participar en rituales y adquirir artesanías elaboradas por la comunidad. El programa social federal Bienestar también brinda un apoyo económico y social a los habitantes.

En cuanto a los servicios básicos, en Potrero de la Palmita los pobladores se enfrentan a carencias significativas pues no todos cuentan con electricidad ni suministro de agua potable en sus viviendas.

Materiales y métodos

El abordaje metodológico de esta investigación se basó fundamentalmente en la observación participativa, en aplicación de encuestas a una muestra representativa de la población (22 viviendas), así como en entrevistas semiestructuradas con líderes clave de la comunidad (8).

El tamaño de la muestra para las encuestas se determinó utilizando la Fórmula Finita de Cochran, tomando en cuenta el número conocido de viviendas electrificadas en la comunidad, que era de 130 hogares, en un nivel de confianza de 96%, contemplando un error de 4%. Para el análisis estadístico de los datos cuantitativos recopilados a través de las encuestas, se utilizó el *software* SPSS (v.22).

La recopilación de información atendió aspectos técnicos de la instalación solar y socioeconómicos de la demanda eléctrica, así como de la per-

cepción social de la energía solar fotovoltaica, y del aprovechamiento y usos que hacen los habitantes de ella.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados más relevantes de la investigación, fundamentalmente en cuanto a las características técnicas del sistema solar fotovoltaico, los usos de la energía desde los servicios eléctricos observados y las problemáticas más destacadas encontradas en la comunidad de Potrero de la Palmita, Nayarit.

Características técnicas de la granja solar de Potrero de la Palmita

El sistema solar fotovoltaico se encuentra ubicado en un montículo libre de obstáculos, que corresponde a un terreno cedido por donación por los comuneros y en una ubicación ideal que permite obtener la mayor cantidad de energía solar que incide durante todo el año en esa área (véase figura 5). En el estado de Nayarit la irradiancia se estima entre 5.5 y 7 kWh/m² (Onexpo, 2016). Esta incidencia de radiación solar representada en horas por superficie de irradiancia coincide con lo que se monitoreó durante las estancias en campo, en las cuales se observó que fue entre las 7:00 am y las 6:30 pm. Las horas de mayor insolación, es decir, en las que el sol irradia con mayor fuerza, fueron entre las 9 am y las 4 pm, las cuales coinciden con las estimaciones estatales.

En cuanto a la infraestructura de la granja solar de Potrero de la Palmita, en la tabla 4 se resumen sus características más sobresalientes, una de las cuales es la operación 100% a distancia desde un centro operativo de la región occidental Jalisco de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) mediante un sistema SCADA⁸ de última generación con el que cuenta el sistema solar fotovoltaico.

⁸ SCADA, acrónimo de supervisory control and data acquisition (control de supervisión y adquisición de datos), es un concepto que se emplea para controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

Figura 5. Vistas aéreas de la granja solar en Potrero de la Palmita, Nayarit, México



Fuente: elaboración a partir de imágenes de Google Earth y fotografía in campo.

Tabla 4. Principales características del sistema solar fotovoltaico de Potrero de la Palmita

Aspecto	Descripción	Observaciones
Terreno que ocupa el sistema solar fotovoltaico	Terreno de 1 ha, ocupado actualmente al 50 por ciento.	Se cuenta con espacio para crecimiento futuro. La infraestructura está cercada.
Infraestructura	Minired descentralizada de generación eléctrica con sistema solar fotovoltaico.	El sistema es autoabastecido por el propio sistema de energía solar.
Mantenimiento	Se requiere mantenimiento del terreno para evitar el crecimiento de maleza y daños al equipo.	Esta tarea la realizan los pobladores.
Operación y mantenimiento	La operación y el mantenimiento del sistema solar corresponde 100% a la CFE.	Los paneles están expuestos a suciedad de polvo y excreta de aves.
Almacenamiento de energía	El sistema solar cuenta con un banco de 312 baterías con ciclo de vida de 17 años.	El banco de baterías proporciona 48 horas de autonomía. ⁹
Sala de control	El sistema solar está equipado con inversores, reguladores de carga y un sistema de comunicación remota SCADA.	Operaciones realizadas por la CFE desde un centro regional de Jalisco.
Generación de energía	572 paneles solares policristalinos de 250 W cada uno. Capacidad instalada de 143 000 W.	Los paneles están montados en 26 estructuras de 22 paneles cada una.
Distribución de energía	Tendido eléctrico aislado (minired eléctrica).	Cobertura al 95% de las calles de la comunidad.
Acceso a la energía eléctrica	65% de las viviendas en Potrero de la Palmita están conectadas a la energía eléctrica proporcionada por la granja solar.	100% de las viviendas conectadas disfrutan de iluminación. Es decir, 130 viviendas cuentan con electricidad contratada.

Fuente: elaboración propia.

⁹ De acuerdo con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, se recomienda para un sistema de generación eléctrica solar fotovoltaica con acumuladores una autonomía mínima de tres días (IDAE, 2009).

El equipamiento básico del sistema solar fotovoltaico aislado se muestra en la figura 6. Como se puede observar la granja solar se encuentra cercada; asimismo, la infraestructura en el cuarto de control se percibe robusta.

Figura 6. Equipamiento del sistema solar fotovoltaico de Potrero de la Palmita, Nayarit, México



Fuente: fotografías de autoría propia realizadas en campo.

Se observó que el mantenimiento técnico de la granja solar es casi nulo. Los pobladores entrevistados indicaron que los técnicos de la CFE sólo asisten en caso de que haya cortes eléctricos prolongados y expresaron que los problemas o fallas menores “han de ser solucionados desde lejos”. En este sentido, resulta evidente que en la comunidad no hay personal técnico que, en caso de fallas, pueda solucionar el problema en el sitio.

La tensión que se genera en esta granja solar se eleva a la salida para ser transmitida mediante una red eléctrica (minirred) aislada. La energía se distribuye a los hogares por medio de un tendido eléctrico, el cual se conecta a una mufa mediante un medidor digital que contabiliza el consumo que realiza la vivienda (véase figura 7). La empresa CFE realiza la conexión hasta la mufa y corresponde al usuario la instalación eléctrica hacia su vivienda;

no obstante, los pobladores requirieron el servicio de personal técnico de la CFE para realizar esa instalación eléctrica en los hogares.

Figura 7. Red eléctrica aislada de Potrero de la Palmita, Nayarit, México



Fuente: fotografías de autoría propia realizadas en campo.

Es relevante destacar que la granja solar tiene una capacidad instalada de 143 000 W. Sin embargo, es importante considerar que parte de la energía generada por el sistema se destina al funcionamiento de sus distintos componentes, para lo cual requiere un consumo estimado de 20% de la energía generada.

Tomando en cuenta un documento de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que evalúa un sistema solar fotovoltaico, se calcula que los inversores y los reguladores requieren alrededor de 14.28 a 17.54% de energía para su operación (UNODC, 2020). En el sistema solar fotovoltaico de Potrero de la Palmita, además, existen dispositivos que necesitan energía, como el aire acondicionado para mantener una temperatura óptima de aproximadamente 17 °C en el cuarto de baterías para su correcto funcionamiento. También se encuentran el sistema de comunicaciones a distancia SCADA y otros elementos que consumen energía. Estos dispositivos pueden representar entre 3 y 6% del consumo total de energía. Por lo tanto, se estima que el sistema solar fotovoltaico en Potrero de la Palmita necesita alrededor de

28.6 kW para su propio funcionamiento, lo que reduce la oferta energética para la comunidad, aproximadamente a 114 400 W.

Usos de la energía solar en Potrero de la Palmita

A. Usos domésticos

Como se ha señalado antes, en la comunidad hay 130 viviendas conectadas a la energía eléctrica, lo cual representa 65% del total de hogares. Como es obvio, el uso principal es la iluminación (100%), seguido por el acceso a redes sociales a través de celulares inteligentes (62.5%), los cuales deben cargar baterías de manera constante. Se observó que en la comunidad se tiene un sistema de telecomunicaciones con acceso a lo que se conoce como “internet rural”. Sin embargo, la conexión debe realizarse a no más de 30 m a la redonda del punto de venta del servicio de internet, ya que a mayor distancia la conexión se pierde.

El empleo de electrodomésticos es el tercer uso que tiene la energía solar en los hogares electrificados, lo que representa 56.3% de uso. También se encontró que 27.7% de las viviendas con energía solar presentan consumos mayores de energía puesto que cuentan con refrigeradores y ventiladores, que, dado el clima de la localidad, permanecen funcionando incluso toda la noche.

También, de este 27.7% de viviendas con energía solar, algunas cuentan con licuadora, hornilla eléctrica, lavadora u otro electrodoméstico, que usan, si no de manera constante, si esporádicamente, lo que resulta en un consumo de electricidad mayor al promedio.

Lamentablemente, en la comunidad, no todos los habitantes tienen acceso a energía eléctrica, lo cual afecta a 35% de las viviendas: aproximadamente a 245 personas. La principal razón que se encontró en el fondo de esta limitación es la falta de recursos económicos para afrontar los costos asociados a la contratación del servicio, la instalación eléctrica y el pago constante de la factura por el consumo.

Es importante destacar que la ausencia de energía eléctrica en los hogares no significa que los habitantes no deseen o valoren este servicio. Por el contrario, se ha observado que estas viviendas requieren el acceso a la elec-

tricidad, ya que actualmente utilizan linternas de pilas, lámparas de queroseno e incluso fogatas para reunirse en familia durante las noches. Aunque estas alternativas no se utilizan a diario, representan costos adicionales para estas familias.

B. Usos sociales y productivos

Además de los usos domésticos, la energía solar en Potrero de la Palmita, según los pobladores entrevistados, ha permitido la convivencia familiar, ya sea para realizar tareas en el hogar o para entretenerse viendo la televisión o escuchando la radio en familia. Una de las actividades que destaca y que se realiza en la comunidad haciendo uso de la iluminación es la elaboración de artesanías en el ámbito familiar.

Asimismo, se observó que hay dos clínicas de salud que se abastecen de electricidad de la granja solar. Una de estas clínicas tiene equipo eléctrico y electrónico para realizar ciertos procedimientos clínicos, así como un refrigerador que mantiene en condiciones adecuadas medicamentos y vacunas. Se observaron escuelas de nivel básico, primaria y secundaria, así como un albergue, que utilizan iluminación en sus instalaciones. En la comunidad hay una telesecundaria, a la cual no se pudo constatar que se utilizara la iluminación ni servicios de teleeducación, ya que no presenciamos clases ni actividades en el tiempo en que se realizó el trabajo de campo en la localidad.

De este modo, en Potrero de la Palmita el uso de la energía solar se destina 100% al servicio doméstico, es decir, a electrodomésticos, iluminación, refrigeración y a algunos equipos eléctricos como ventiladores de pedestal, entre otros. No obstante, se encontró evidencia de infraestructura de bombeo de agua en desuso y abandonada desde el río Huaynamota hasta el nor-oriental de la comunidad que tenía la finalidad de dotar de agua de riego y para usos múltiples a la comunidad. Este servicio se puede categorizar como servicio social, o público, pero, como se indica, no está funcionando.

C. Costos de la energía eléctrica

Respecto del costo promedio bimestral del consumo eléctrico por vivienda, se calcula que asciende a 93.57 pesos mexicanos, lo cual es considerado por

50% de los pobladores encuestados como un costo elevado. Entre ellos, las personas que tienen un local comercial, pues consideran que el costo de la energía eléctrica afecta sus ganancias. Los pobladores que realizan consumos bajos también consideran que la electricidad es cara, incluso si sólo la utilizan para la iluminación de sus viviendas. No obstante, 12.5% de los pobladores encuestados consideró que la energía eléctrica es barata.

Se observó que aproximadamente 72.3% de los hogares electrificados tienen consumos por debajo de 45 kWh/bimestre, lo que representa una factura de 48 pesos mexicanos. Esta facturación representa el cobro mínimo que realiza la CFE por el servicio doméstico a nivel nacional. Incluso hay hogares en la comunidad que llegan a consumir solamente 15.6 kWh/b, lo que equivale a iluminar, con uno o tres focos LED de 9 a 13 W, alrededor de cuatro a 12 horas, dependiendo de la cantidad de focos en el hogar. En este sentido, se identificó que, en promedio, hay 3.31 focos por vivienda. En cuanto al 27.7% de las viviendas que usan electrodomésticos de consumo alto, el costo promedio bimestral llega a ser de 380 pesos mexicanos. Este costo es similar al que paga una vivienda típica en zonas urbanas de México.

Problemáticas de la granja solar en Potrero de la Palmita

La energía solar ofrece beneficios sociales y ambientales en comunidades rurales, mejorando la calidad de vida y reduciendo la contaminación ambiental, como se ha mostrado en este documento. Sin embargo, la investigación identificó varias problemáticas asociadas a su implementación en Potrero de la Palmita, así como de la propia comunidad.

En primer lugar está el problema de la intermitencia y la variabilidad. Mientras la intermitencia está relacionada con la disponibilidad del recurso energético para convertirlo en electricidad, la variabilidad se refiere a las condiciones meteorológicas y climáticas que afectan la eficiencia de la conversión energética. A pesar de que la granja solar en la comunidad cuenta con un banco de baterías que brinda 48 horas de autonomía (Banco Mundial, 2016), se observaron cortes constantes de energía, que van desde los prolongados, esto es, los de 48 horas, hasta los de cinco a 10 minutos, según se pudo observar en la visita de campo. Estas fallas pueden deberse tanto a

las condiciones solares y climáticas exógenas al sistema como a las fallas técnicas por falta de mantenimiento preventivo y correctivos profundos. No obstante, los habitantes se quejaron de estas fallas y manifestaron que les ha ocasionado descompostura de electrodomésticos.

En segundo lugar, existe una falta de mantenimiento tanto de limpieza (polvo y excretas de aves en algunos paneles), como de reparación y reemplazo de piezas expuestas a las inclemencias del tiempo que afectan la operación óptima de los paneles solares y de otros componentes. En este sentido, cabe señalar que el mantenimiento corresponde exclusivamente a la CFE, que, por lo antes mencionado, es casi nulo.

Otra problemática que se encontró en la comunidad tiene que ver con la participación de la comunidad durante y después de la implementación de la granja solar. La investigación da cuenta de que la población no aprovecha al máximo los servicios energéticos de la infraestructura solar. También se descubrió una falta general de comprensión sobre cómo funciona la energía solar y cómo se puede utilizar para beneficio de la comunidad, lo que impacta en el grado de percepción y adopción de la tecnología solar fotovoltaica por parte de la población.

Aunque se observó una buena aceptación de la energía solar para el servicio doméstico, especialmente en lo que respecta a la iluminación, la situación cambia cuando se refiere a las actividades comerciales. La investigación reveló que la mayoría de las personas (90.9%) no considera atractivo el uso de energía solar para las actividades económicas. En contraste, manifestaron preferir el uso de energía proveniente de la red nacional o de generación convencional.

Discusión

La investigación halló que el servicio doméstico de la energía, particularmente para iluminación, es muy bien aceptado en la comunidad. Esto coincide con la literatura, pues así lo exponen los estudios de Lazdins *et al.* (2021) y Yadav *et al.* (2019), que afirman que la energía solar tiene un impacto significativo en la calidad de vida de las personas. Además, facilita a los usuarios rurales el uso de electrodomésticos y propicia los beneficios

sociales enfocados en la salud y la educación. Asimismo, los organismos internacionales sostienen que la iluminación es parte de los servicios básicos necesarios para apoyar el desarrollo de las comunidades rurales (FAO, 2021; Van Campen *et al.*, 2000).

En Potrero de la Palmita, el circunscribir el uso de la energía solar a los satisfactores domésticos concuerda con las conclusiones de diversas investigaciones que manifiestan que “el servicio eléctrico no es bueno, pero es suficiente para cumplir con los estándares familiares” (Arenas Aquino *et al.*, 2017).

De acuerdo con la observación en campo, se constató que la granja solar instalada en la comunidad de Potrero de la Palmita en 2015 proporciona un servicio eléctrico similar al del servicio eléctrico tradicional, salvo que el tradicional se genera en grandes centrales eléctricas alejadas de las zonas de consumo, particularmente urbanas, mientras que la granja solar genera la energía de manera local y, además, la almacena, ofreciendo una tensión eléctrica adecuada para el funcionamiento de equipos eléctricos y electrónicos.

Esto coincide con Chmiel y Bhattacharyya (2015), quienes señalan que el sistema de electrificación al margen de la red ilustra claramente cómo un sistema autónomo puede satisfacer las necesidades de energía eléctrica de un estilo de vida moderno y confiable y que ese sistema no es inferior al servicio suministrado por la red principal. Al igual que en el estudio de los autores anteriores, los habitantes de Potrero de la Palmita reciben un suministro eléctrico las 24 horas del día. Sin embargo, a diferencia de la experiencia en Gran Bretaña de la investigación de Chmiel y Bhattacharyya, en Potrero de la Palmita los pobladores tienen quejas respecto de fallas y cortes eléctricos constantes, como los que se observaron durante la visita de campo.

Siguiendo esta idea, se identificó que la energía de la granja solar es inestable, con cortes de energía frecuentes y de duración prolongada, incluso hasta de dos días. Estas fallas en los sistemas autónomos deben estudiarse para minimizar los cortes eléctricos y procurar un suministro confiable. De hecho, varias investigaciones a nivel mundial resaltan este problema, según el cual puede haber tanto periodos restringidos de suministro eléctrico como periodos de exceso de generación de energía (Chmiel

y Bhattacharyya, 2015), lo que puede llegar a afectar equipos eléctricos, como ya se mencionó.

Así, las dos experiencias mencionadas proporcionan una valiosa lección pues demuestran que un sistema aislado, adecuadamente diseñado, puede ser una opción de electrificación efectiva, incluso para cualquier país en desarrollo.

Un aspecto que sobresale de esta investigación tiene que ver con el costo del servicio, el cual sigue siendo un desafío significativo en sistemas descentralizados con energías renovables. Aunque en Potrero de la Palmita el precio que pagan los usuarios está subsidiado y es prácticamente similar al del resto del país respecto del consumo realizado por bimestre en los hogares, a nivel mundial el costo para el usuario puede llegar a ser muy elevado; es decir, si los residentes con servicios de energía solar debieran pagar tarifas que cubran tanto los costos operativos como los costos de la inversión de capital, no sería viable para los usuarios (Chmiel y Bhattacharyya, 2015).

Éste sigue siendo un problema en muchos países en desarrollo, especialmente en áreas rurales, donde los ingresos son limitados y las comunidades no pueden afrontar cargos elevados, como en el caso de la localidad de estudio. Además, los costos de mantenimiento son otro factor que falla en estos sistemas. En el PSIE, el reporte no hace referencia a un sistema o a un programa de mantenimiento continuo durante la vida operativa del sistema; sólo hace referencia a costos de mantenimiento en un ejercicio financiero, sin mencionar en qué consiste esa partida (Banco Mundial, 2016). Esto puede ser un problema si la financiación del proyecto se basa únicamente en costos de capital inicial (Passey *et al.*, 2011).

A pesar de los problemas de intermitencia y fallas técnicas de la energía solar, se pudo observar que los habitantes que cuentan con electricidad en sus viviendas han podido satisfacer algunas de sus necesidades elementales. Sin embargo, el estudio revela que 90.9% de los habitantes considera que no ha habido progreso social o económico significativo en la comunidad como resultado del servicio eléctrico. Esto probablemente se deba a que no existió una adopción de la energía solar como consecuencia de la falta de involucramiento de la comunidad durante y después de la implementación de la granja solar y además esa falta afecta la percepción de los habitantes hacia de este tipo de energía.

Otro aspecto que hay que considerar se refiere al involucramiento de la sociedad tanto en la planeación como en la operación y el conocimiento del funcionamiento que implica este tipo de proyectos. Es decir, reconocer las capacidades de los habitantes para estimular su desarrollo enfocado en sus necesidades, expectativas y percepciones (Long, 2001).

No involucrar a la población genera percepciones negativas, por ejemplo, sobre este tipo de proyectos. En la investigación de campo se observó una percepción negativa hacia la energía fotovoltaica en lo que respecta a procesos productivos y actividades económicas por parte de la comunidad. Los habitantes rechazan esta tecnología por desconocimiento y no tanto por la funcionalidad o la capacidad de generación de energía.

Estos hallazgos destacan, por un lado, la necesidad de abordar los desafíos específicos que surgen al implementar la energía solar fotovoltaica en comunidades rurales. Se evidencia un hueco de conocimiento en la identificación de las barreras económicas y técnicas que limitan la adopción de esta tecnología en áreas rurales, así como en comprender y abordar las percepciones, necesidades y expectativas de las comunidades rurales.

Por otro lado, sobresale la exigencia de un enfoque de desarrollo rural alternativo, que tome en cuenta las particularidades y las necesidades específicas de cada comunidad (Long, 2001). Es fundamental brindar apoyo económico y técnico para superar las barreras identificadas, promoviendo la adopción efectiva de la energía solar fotovoltaica en comunidades rurales.

Sin embargo, a pesar de las limitaciones identificadas, se reconoce que la energía solar fotovoltaica tiene el potencial de mejorar significativamente la calidad de vida de las comunidades rurales. Por lo menos así lo demuestra esta investigación, particularmente en lo que concierne a los habitantes que tienen servicio eléctrico contratado y que además cuentan con electrodomésticos en sus hogares.

En este sentido, es evidente la necesidad de acompañar estos proyectos con un enfoque de desarrollo rural alternativo que tome en cuenta las necesidades y las percepciones de las comunidades rurales, con el fin de abordar de manera más efectiva los desafíos del desarrollo rural en el contexto de la energía solar fotovoltaica.

Lo anterior implica realizar un diagnóstico participativo, involucrando a los habitantes de la comunidad en el proceso de toma de decisiones. Es

importante comprender sus necesidades energéticas, sus expectativas y sus limitaciones económicas y culturales (Long, 2001), así como identificar las eventuales barreras para adoptar la energía solar fotovoltaica, como se demostró en esta investigación.

Un aspecto fundamental para promover la adopción de la energía solar fotovoltaica en comunidades rurales es la educación y la capacitación. Es necesario proporcionar información clara y accesible sobre los beneficios de esta tecnología, así como capacitar a los habitantes de la comunidad en el uso, mantenimiento y gestión de los sistemas fotovoltaicos. Esto puede incluir la formación de técnicos locales capaces de realizar la instalación y el mantenimiento de los sistemas, así como programas de concientización sobre el ahorro de energía y buenas prácticas en el uso de los recursos.

Conclusiones

Después de haber explorado el potencial de la energía solar en Potrero de la Palmita, se identificaron varias limitaciones en términos de costos, fallas técnicas y percepciones sociales negativas hacia la energía solar, en cuanto a su aplicación en procesos productivos y actividades económicas, lo que en conjunto plantea desafíos específicos para la adopción y la implementación integral de esta tecnología en comunidades rurales. Por eso es necesario comprender y abordar las percepciones, las necesidades y las expectativas de las comunidades con un enfoque de desarrollo rural alternativo que tome en cuenta las particularidades de cada comunidad y brinde apoyo económico y técnico para superar las barreras identificadas.

A pesar de las limitaciones, se reconoce que la energía solar fotovoltaica tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales al proporcionarle acceso a servicios básicos y facilitar sus actividades económicas. Cabe mencionar que, con la granja solar, Potrero de la Palmita cuenta con servicios básicos esenciales como iluminación, refrigeración de alimentos y medicamentos, y se facilita el funcionamiento de clínicas de salud. Sin embargo, aún existen desafíos por superar para garantizar un óptimo funcionamiento y la adopción generalizada e integral de esta alternativa sustentable de generación de energía eléctrica, algunos de cuyos de-

safíos han quedado señalados en este documento. Este es el caso de 35% de las viviendas de Potrero de la Palmita que, por una u otra razón, no cuentan con el servicio doméstico básico: la iluminación.

Por último, la capacidad de un sistema de energía para proporcionar electricidad limpia y asequible que impulse las actividades económicas locales y fomente el desarrollo, no se pudo constatar en Potrero de la Palmita, lo que también evidencia la omisión institucional que deja en el abandono estos procesos de desarrollo socioeconómico que se vincula con la generación de energías limpias. En Potrero de la Palmita, la implementación del sistema solar fotovoltaico careció de un proyecto integral y su componente de desarrollo social y económico no se llevó a cabo (Banco Mundial, 2016), lo cual limitó el proyecto sólo a proporcionar iluminación doméstica.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen a las autoridades, a los líderes y a los pobladores de la comunidad Potrero de la Palmita del municipio El Nayar en Nayarit, México, las facilidades, la hospitalidad y el tiempo dedicado en las entrevistas, en las pláticas y en las encuestas que se llevaron a cabo durante el trabajo de campo. Asimismo, agradecen las facilidades otorgadas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) para la realización de esta investigación.

Referencias

- Albertos, C. (2018, 9 de agosto). *Desarrollo sostenible de los pueblos indígenas: con ellos, para ellos*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://blogs.iadb.org/igualdad/es/development-sustainable-of-the-indigenous-peoples-with-them-for-them>.
- Aliaga Lordemann, J., y Paredes Alanes, M. (2010, febrero). *Cambio climático, desarrollo económico y energías renovables: Estudio exploratorio de América Latina* (documento de trabajo, 02/10). Universidad Católica Boliviana, Instituto de Investigaciones Socioeconómicas (IISec).
- Arenas Aquino, Á. R., Matsumoto Kuwabara, Y., y Kleiche-Dray, M. (2017). Energía solar y marginación: análisis de la percepción social sobre nuevas tecnologías para la articulación de una transición energética en el municipio de Nezahualcóyotl, México.

- Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3), pp. 449-461. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.08>.
- Banco Mundial (2016, 31 de agosto). *Implementation Completion and Results Report (IBRD-7501, TF-091733) on a Loan in the Amount of us\$15 Million and a Grant from the Global Environment Facility Trust Fund in the Amount of us\$15 million to the United Mexican States for an Integrated Energy Services Project* (Reporte núm. ICR00003814). WB. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/195401473187206344/pdf/ICR-Main-Documents-P088996-2016-08-31-23-38-09012016.pdf>.
- Chmiel, Z., y Bhattacharyya, S. C. (2015). Analysis of off-grid electricity system at Isle of Eigg (Scotland): Lessons for developing countries. *Renewable Energy*, 81, pp. 578-588. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2015.03.061>.
- ENEL (2023). *La transición energética*. Enel Green Power. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/transicion-energetica>.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) (2023). *Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero*. EPA. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>.
- FAO (2018, 12 de abril). *Buenas perspectivas para los sistemas de riego con energía solar*. Noticias de la FAO.
- (2021, 23 de junio). *Tres soluciones energéticas sostenibles para la producción de alimentos y lugares donde se utilizan: ¿cómo ayuda la FAO a ampliar el acceso a la energía limpia en todo el mundo?* FAO. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1412920/>.
- Frediani, A. A., Clark, D. A., y Biggeri, M. (2019). Human development and the capability approach: The role of empowerment and participation. En D. A. Clark, M. Biggeri y A. A. Frediani (eds.), *The Capability Approach, Empowerment and Participation: Concepts, Methods and Applications* (Rethinking International Development), pp. 3-36. Palgrave MacMillan. https://doi.org/10.1057/978-1-137-35230-9_1.
- FreePNG (2023). *Poste de electricidad tendido eléctrico de la línea de clip art: Poste de teléfono*. FreePNG. <https://www.freepng.es/png-39m86g/>.
- HelioEsfera (2023). *Instalación fotovoltaica aislada*. HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/>.
- Hussain, M., Butt, A. R., Uzma, F., Ahmed, R., Irshad, S., Rehman, A., y Yousaf, B. (2020). A comprehensive review of climate change impacts, adaptation, and mitigation on environmental and natural calamities in Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), pp. 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7956-4>.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2009). *Instalaciones de energía solar fotovoltaica: pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red*. IDEA. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2020). *Población rural y urbana*. INEGI. https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx.
- (2022, 8 de agosto). *Estadísticas a propósito del Día Internacional de los Pueblos*

- Indígenas* (comunicado de prensa, 430/22). INEGI. https://www.inegi.org.mx/conte-nidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_PueblosInd22.pdf.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2021, junio). *Costos de generación de energía renovable en 2020: resumen ejecutivo*. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-2020-Summary-ES>.
- Julián, C. (2023). *Transformador eléctrico*. Ingtelecto. <https://ingtelecto.com/transformador-electrico/>.
- Lazdins, R., Mutule, A., y Zalostiba, D. (2021). PV energy communities: Challenges and barriers from a consumer perspective: A literature review. *Energies*, 14(16), p. 4873. <https://doi.org/10.3390/EN14164873>.
- Long, N. (2001). *Development Sociology: Actor Perspectives*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203398531>
- Martínez Chapa, O., y Salazar Castillo, J. E. (2022, julio-septiembre). Desafíos presentes en el México rural: problemas y posibilidades. *Espacio Abierto: Cuaderno Venezolano de Sociología*, 31(3), pp. 87-105. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/espacio/article/view/38639>
- Montecinos, E. (2021). Planificación territorial en Chile del modelo *top down* a los desafíos de articulación multinivel. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(2), pp. 484-500. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i2.35936>.
- National Geographic (2022, 20 de abril). *La energía solar y su potencial para ayudar a reducir el calentamiento global*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2022/04/la-energia-solar-y-su-potencial-para-ayudar-a-reducir-el-calentamiento-global>.
- Onexpo (2016, 11 de mayo). *Evalúan recurso solar de Nayarit*. Onexpo. <https://onexpo.com.mx/NOTICIAS/evaluan-recurso-solar-de-nayarit>.
- Passsey, R., Spooner, T., MacGill, I., Watt, M., y Syngellakis, K. (2011). The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors. *Energy Policy*, 39(10), pp. 6280-6290. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2011.07.027>.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2020, noviembre). *Informe nacional sobre desarrollo humano. Paraguay 2020: energía y desarrollo humano* [Resumen]. PNUD. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/py/UNDP-PY-INDH_Py_2020_Resumen.pdf
- Rahman, S. M., Mori, A., y Rahman, S. M. (2022). How does climate adaptation co-benefits help scale-up solar-powered irrigation?: A case of the Barind Tract, Bangladesh. *Renewable Energy*, 182, pp. 1039-1048. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.012>.
- Sagarpa (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2015, 25 de septiembre). *Desarrollo rural, la esperanza del campo*. Sagarpa. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/desarrollo-rural-la-esperanza-del-campo>
- Sedesol (Secretaría de Desarrollo Social) (2010). *Catálogo de localidades: Potrero de la Palmita*. Sedesol. <https://www.microrregiones.gob.mx/catloc/indiMarginacLoc.aspx?refnac=180090717>

- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2021). *Capacidad instalada y generación de electricidad por sector y fuente de energía limpia*. Semarnat. [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_ENERGIA03_05&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_ENERGIA03_05&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=)
- Shahsavari, A., y Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, pp. 275-291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>.
- Terry Gregorio, J. R. (2012, noviembre). Aproximación al concepto de comunidad como una respuesta a los problemas del desarrollo rural en América Latina. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, (18). www.eumed.net/rev/cccss/22/concepto_comunidad.html.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2010). *Energía solar fotovoltaica: Principio físico*. UNAM, Facultad de Ingeniería. <https://www.mendeley.com/reference-manager/library/collections/0c982fb2-ba9e-4c53-957a-ca2554f23fe9/all-references/>.
- UNODC (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito). (2020, 20 de abril). *Informe de cálculos para sistema solar fotovoltaico*. UNODC. https://www.unodc.org/documents/colombia/2020/Abril/CALCULOS_SISTEMA_SOLAR_FOTOVOLTAICO_30_ABR.pdf.
- Van Campen, B., Guidi, D., y Best, G. (2000). *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles* (Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales, 3). FAO. <https://www.fao.org/uploads/media/Solar%20photovoltaic%20for%20SARD%20ES.pdf>.
- Yadav, P., Davies, P. J., y Sarkodie, S. A. (2019, noviembre). The prospects of decentralised solar energy home systems in rural communities: User experience, determinants, and impact of free solar power on the energy poverty cycle. *Energy Strategy Reviews*, 26, p. 100424. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100424>.

VIII. Encuestas digitales para recolección de datos durante brigadas en lugares sin acceso a internet

LAURA IVOONE GARAY-JIMÉNEZ*

BANI AZARAEI MEJÍA-FLORES**

BLANCA ALICIA RICO-JIMÉNEZ***

PILAR GÓMEZ-MIRANDA****

GUADALUPE GONZÁLEZ-DÍAZ*****

ANA BELEM PIÑA-GUZMÁN*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.08>

Resumen

Introducción: La recopilación de información a través de encuestas digitales en comunidades rurales aisladas de México es difícil debido a la falta de internet. Sin embargo, investigadores del sector salud requieren analizar la salud de las familias en la comunidad rural. El sitio considerado fue la Laguna de Tampamachoco, en Tuxpan, Veracruz. *Objetivo:* Desarrollo de un sistema de cómputo móvil disponible sin acceso a internet. El sistema

* Doctora en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Bioelectrónica por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y profesora-investigadora en la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9478-4835> ; Autora de correspondencia: Igaray@ipn.mx

** Licenciado en Ciencias Informáticas. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1742-1906>

*** Doctora en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Bioelectrónica por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1155-1628>

**** Doctora en Educación y profesora-investigadora de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1480-3061>

***** Doctora en Educación. Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía (ENMYH) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3021-4205>

***** Doctora en Toxicología por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional y profesora-investigadora de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9932-3517>

proporciona un cuestionario digital para recolectar y almacenar la información. El sistema permitirá recopilar la información de los habitantes de la comunidad de la Laguna de Tampamachoco. *Metodología:* Se adecuó una cédula de recolección de información sobre la salud comunitaria para su transformación a un instrumento digital. Para la implementación del sistema se utilizó el método SCRUM para su desarrollo. La funcionalidad de la aplicación digital fue validada en investigación de campo por una brigada multidisciplinaria de estudiantes e investigadores de tres unidades académicas del Instituto Politécnico Nacional. Los brigadistas aplicaron los cuestionarios a 30 habitantes de la comunidad y, posteriormente, a ellos se les pidió contestar un cuestionario de usabilidad de la aplicación. *Resultados:* Al finalizar el levantamiento de la encuesta, la aplicación móvil actualiza su base de datos local. Después, cuando los encuestadores tienen acceso a internet actualizan la información de la base de datos global del servidor. Por último, los investigadores descargaron el archivo con el informe global para su análisis sin internet. *Conclusiones:* El sistema de gestión y aplicación de encuestas digitales (SIGAE) demostró ser funcional sin acceso a internet pues guarda la información en la base de datos móvil. La aplicación es capaz de resolver el problema de recopilar información mediante encuestas en comunidades rurales o sin acceso a internet con celulares.

Palabras clave: *salud digital, bases de datos, aplicación móvil sin internet, México, salud pública, medicina social, comunicación.*

Introducción

Como describen Villas y Miranda (2016), los componentes por definir de cualquier estudio de investigación son la cantidad de mediciones, la cantidad de grupos de estudio, si existe o no una intervención por parte del investigador, el momento en que ocurre el fenómeno y la forma de recopilar los datos. Asimismo, es importante destacar que la recopilación de datos es una herramienta esencial para el diagnóstico y la generación de políticas públicas o estrategias de acción. En esta tarea destaca la encuesta, ya que es una de las técnicas más utilizadas en la metodología en trabajos de

investigación social y de salud. Rojas (2021) especifica que la recopilación de datos consta de tres pasos importantes para desarrollar y validar los instrumentos, aplicar técnicas de recopilación y registrar la información (Patten y Newhart, 2018; Hernández Sampieri *et al.*, 2018; Villasis-Keever y Miranda-Navales, 2016). Casas Anguita *et al.* (2003) mencionan que la encuesta es una técnica de recopilación de datos ampliamente conocida y utilizada en muchos trabajos de investigación social, ya que es un instrumento que permite recopilar datos de manera rápida y eficiente en un contexto altamente complejo.

Considerando que la “medicina social” se refiere a los problemas médicos de una sociedad en particular y a los medios que deben emplearse para resolverlos (McKeown y Lowe, 1989), existe la necesidad de realizar encuestas en lugares de diferentes niveles socioeconómicos y ubicaciones geográficas. Realizar encuestas en lugares sin acceso a internet implica un desafío logístico para recopilar información sobre medicina social. En el sitio web del Gobierno de México (2023) se menciona que “México cuenta con 189 432 localidades, de las cuales 185 243 se consideran localidades rurales, es decir, con menos de 2 500 habitantes, lo que representa el 97.7% del número total de localidades en el país; en estas localidades viven aproximadamente 26.9 millones de habitantes”.

Según las estadísticas del INEGI (2021) el 81.6% de los habitantes de las áreas urbanas es usuario de internet; sin embargo, en las zonas rurales sólo 56.5% tiene acceso a esta tecnología. En su mayoría, el acceso público a internet está restringido a edificios públicos comunitarios o a dispositivos móviles como los celulares.

En virtud de lo anterior, es necesario desarrollar herramientas para llevar a cabo encuestas en áreas sin acceso a internet y diseñar encuestas de cédulas familiares de máxima proximidad, que ayuden a los especialistas en medicina social a realizar la recopilación de información del campo de interés. Esta necesidad dio origen a la creación de la aplicación para dispositivos móviles que permite gestionar y generar la información a partir de encuestas implementadas de manera digital. El cuestionario se fundamenta en el método clínico, considerando los criterios definidos por el modelo de determinantes sociales de la salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) y los miembros del Laboratorio de Instrumentación y Procesamiento de Señales (LIPS) de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA), generaron y evaluaron el sistema en colaboración con la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía (ENMYH) y la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI), todas dependientes del Instituto Politécnico Nacional (IPN). La ENMYH, la UPIBI y la UPIITA participaron en las brigadas de salud en Tuxpan, Veracruz. El propósito de estas brigadas fue recopilar información de los residentes de la comunidad con el fin de conocer y evaluar el estado de salud de los miembros de las familias mediante las encuestas de la aplicación desarrollada. Estas encuestas se aplicaron a la comunidad con preguntas pertinentes según el contexto ajustando el lenguaje de manera que resultara autoexplicativo (Huang *et al.*, 2006).

El estudio se centra en abordar la necesidad de adquirir información en áreas sin acceso a internet mediante la implementación de cuestionarios digitales, a través de una aplicación móvil. Estos cuestionarios digitales se utilizarán para llevar a cabo un diagnóstico de salud comunitaria, siguiendo el Modelo de Determinantes Sociales de la Salud propuesto por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2022a; WHO, 2003).

El sistema presentado se ha aplicado en el proyecto “Análisis de la salud familiar en la laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz”, con el propósito de coadyuvar a mejorar la calidad de la recopilación de datos. Este estudio tiene como objetivo crear versiones digitales de cuestionarios, adaptar instrumentos originales, evaluar el impacto de los datos, utilizar técnicas de recopilación con herramientas digitales y mejorar la calidad del registro de la información recopilada.

Materiales y métodos

La metodología empleada para llevar a cabo el estudio que se desarrolló a través de varias etapas es descrito en esta sección. Estas etapas proporcionaron la estructura necesaria para la ejecución exitosa de la investigación y la recopilación de datos. A continuación se presentan los puntos generales

de la metodología, seguidos de una breve descripción de cada fase del proceso. Posteriormente se realiza una descripción más detallada de cada una de estas fases.

Consideraciones generales

1. *Enfoque multidisciplinario.* El estudio se basó en un enfoque multidisciplinario que involucró a expertos y a colaboradores de diversas áreas académicas, incluyendo ingeniería biotecnológica, ingeniería ambiental, ingeniería biónica, cirugía, homeopatía y otros campos relacionados.
2. *Período de realización.* El trabajo de campo se realizó del 23 al 25 de marzo de 2023, para garantizar que se cubriera el tamaño de muestra.

Fases de la metodología

1. Preparación
 - a) *Desarrollo de la aplicación.* Se generó la versión en papel de las cédulas de recolección por parte de los especialistas de la ЕНМҮН, el grupo de trabajo consideró los criterios de la OMS para hacer una propuesta al equipo multidisciplinario.
 - b) *Transformación de preguntas.* Las preguntas abiertas se transformaron en opciones cerradas para reducir el margen de error en la identificación de las características por evaluar y para agilizar la aplicación.
 - c) Se realizó la aplicación digital SIGAE por los investigadores de УПІІСІА en colaboración con УПІІТА. Esta aplicación tiene como prioridad la eficiencia en la recopilación y en la reducción de errores, así como la disminución de tiempo en la preparación de la información para su análisis posterior.
 - d) *Selección de equipo.* Se conformó un equipo interdisciplinario compuesto por estudiantes y profesionales de diferentes campos

académicos, incluyendo ingeniería biotecnológica, ingeniería ambiental, ingeniería biónica, cirugía y homeopatía, con experiencia mínima en la aplicación de las encuestas, supervisados por los investigadores responsables de la ENMYH, la UPIBI y la UPIITA.

2. Recopilación de datos

- a) La encuesta diseñada para la Evaluación de la Salud Familiar se dividió en 10 secciones, cada una enfocada en aspectos específicos de la salud y el entorno familiar.
- b) *Selección de la muestra.* Se seleccionaron 30 habitantes aleatoriamente de la comunidad, abarcando diferentes edades y perfiles familiares.

3. Aplicación de la encuesta

- a) *Entrevistas en la comunidad.* Los miembros del equipo implementaron la encuesta utilizando la aplicación SIGAE, mientras se realizaba una jornada de atención de la salud en la comunidad. Las respuestas se registraron en tiempo real una vez que los encuestados fueron informados sobre el objetivo de la misma y solicitando su autorización, indicándoles que podían suspender el cuestionario cuando lo consideraran conveniente.
- b) *Confidencialidad.* Se garantizó la confidencialidad de la información recopilada, ya que sólo los investigadores responsables tienen acceso a los datos personales del encuestado y el resto de la información únicamente se utilizaría con fines estadísticos y académicos.

4. Sincronización y visualización

- a) *Sincronización de datos.* Después de la recopilación de datos en áreas sin acceso a internet, se sincronizaron los datos con un servidor SQL para su análisis posterior.
- b) *Generación de informes.* Se crearon informes globales de los resultados de las encuestas, que se pudieron visualizar a través de archivos de Excel o enviar por correo electrónico desde el dispositivo móvil.

5. Análisis de datos

a) *Criterios de la OMS y determinantes sociales de la salud.* Se utilizó una variante del cuestionario de la OMS y el Modelo de Determinantes Sociales de la Salud para evaluar las condiciones de salud y los factores sociales de la comunidad. Los resultados de ese estudio están fuera del alcance de este documento.

6. Herramientas y seguimiento

a) *Metodología ágil SCRUM.* Se adoptó la metodología ágil SCRUM para la gestión del proyecto, con *sprints* de una semana y el uso de Jira® como herramienta de gestión de proyecto y generación de la documentación (Mahalakshmi y Sundararajan, 2013).

b) *Compatibilidad y pruebas.* La aplicación Cuestionarios Digitales se probó en múltiples versiones de celulares móviles con sistema Android, desde la generación 8 hasta la 13, para garantizar su compatibilidad.

El trabajo de campo a través de la brigada contó con la participación de dos estudiantes de la UPIBI, de las carreras de ingeniería biotecnológica e ingeniería ambiental, un graduado en ingeniería biónica de la UPIITA y tres pasantes con licenciaturas en cirugía y homeopatía de la ENMYH. Durante la brigada se utilizó la aplicación desarrollada en la UPIICSA y la UPIITA llamada “SIGAE” para que los miembros del grupo con diferentes perfiles académicos recopilaran información de los habitantes de la comunidad, cubriendo un total de 30 habitantes, representantes de familias.

Se recopiló la información sobre las condiciones sociales para conocer y evaluar el estado de salud de los miembros de las familias. Las preguntas de la encuesta están enfocadas en la evaluación de la salud familiar en el área circundante de la Laguna de Tampamachoco (WHO, 2003; Conagua, 2022; OPS, 2022b).

La encuesta se centró en la realización de un diagnóstico de salud comunitaria, considerando el Modelo de Determinantes Sociales de la Salud (OPS, 2022a), que toma en cuenta los siguientes factores:

1. La necesidad de instituir políticas para prevenir que las personas caigan en desventajas a largo plazo.
2. Cómo el entorno social y psicológico afecta la salud.
3. La importancia de asegurar un entorno adecuado en la primera infancia.
4. El impacto del trabajo en la salud.
5. Los problemas del desempleo y la inseguridad laboral.
6. El papel de la amistad y la cohesión social.
7. Los peligros de la exclusión social.
8. Los efectos del alcohol y otras drogas.
9. La necesidad de garantizar el acceso a suministros de alimentos saludables para todos.
10. La necesidad de contar con sistemas de transporte más saludables.

La encuesta está dividida en 10 secciones. En la tabla 1 se describe el enfoque de cada una.

Tabla 1. Descripción de las secciones del cuestionario

	<i>Descripción</i>	<i>Tipo de pregunta</i>	<i>Preguntas</i>
1	<i>Habitantes</i> : información básica sobre el número de habitantes en el hogar y el grupo de edad al que pertenecen.	Selección múltiple.	11
2	<i>Hábitos y actividades</i> : datos acerca de las actividades y los hábitos de las familias para facilitar la identificación de posibles riesgos.	Selección múltiple. Selección múltiple con la opción de "otros". Respuesta abierta extensa.	7
3	<i>Vivienda</i> : información sobre la infraestructura y el funcionamiento de la vivienda, con el fin de facilitar la identificación de residentes en situación de riesgo.	Selección múltiple. Selección múltiple con opción de "otros".	23
4	<i>Servicios</i> : información sobre los servicios públicos disponibles en una vivienda.	Selección múltiple. Selección múltiple con opción de "otros".	6
5	<i>Gestión de excretas y desechos</i> : información sobre las utilidades del hogar para facilitar la identificación de riesgos.	Selección múltiple. Selección múltiple con opción de "otros".	12
6	<i>Vivienda</i> : datos sobre las características de la vivienda, como el suministro de gas, electricidad, internet y transporte.	Selección única.	3
7	<i>Alimentación</i> : información sobre la dieta de la familia para identificar posibles riesgos.	Selección múltiple. Selección múltiple con opción de "otros".	26
8	<i>Salud</i> : información sobre la salud de la familia para facilitar la identificación de probables riesgos.	Selección múltiple. Selección múltiple con opción de "otros".	5

	<i>Descripción</i>	<i>Tipo de pregunta</i>	<i>Preguntas</i>
9	Preguntas según el rango de edad de las personas que habitan con el entrevistado, de cinco años en adelante, mayores de 18 años y mayores de 60 años.	Selección múltiple. Selección múltiple con opción de "otros".	22
10	Las condiciones de salud incluyen atención prenatal y salud bucal.	Selección múltiple. Selección múltiple con opción de "otros".	7
Número total de preguntas			122

La versión digital de la encuesta fue diseñada siguiendo el concepto de técnicas ágiles, lo que implica que hay ciclos cortos de diseño, bosquejo y retroalimentación por parte del usuario final. Inicialmente, se llevó a cabo un análisis de cada una de las preguntas proporcionadas por los especialistas. Posteriormente, a través del trabajo colaborativo, se minimizaron las preguntas abiertas y se adaptaron al formato de la *app* sin perder el objetivo de las preguntas. Como resultado, se transformaron las preguntas que requerían una reconsideración para su implementación digital (Llerena-Martínez y Terrones-Okamura, 2018). El criterio fue migrar las preguntas a opciones cerradas o de elección múltiple para recopilar la información con un margen de error menor, agilizar la aplicación y evitar la interpretación subjetiva del entrevistador. Se propone entregar los resultados para su análisis en un formato que las herramientas digitales comerciales como Excel puedan manejar.

Un ejemplo de las preguntas sugeridas se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. *Ejemplos de preguntas sobre salud social*

90. ¿Algún miembro inmediato de tu familia ha padecido esto?

- Malaria
- Dengue
- Fiebre amarilla
- Zika
- Chikunguña
- Cólera
- Otra: _____

6. ¿Cuántas personas son...?

- Solteras: _____
- Casadas: _____
- Viudas: _____
- Unión libre: _____
- Otra: _____

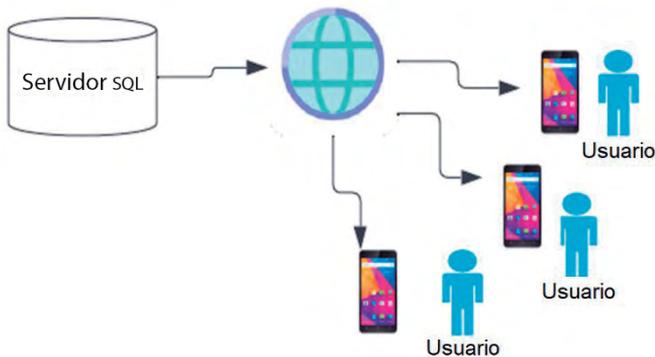
Descripción técnica del sistema de la aplicación SIGAE

La aplicación móvil SIGAE fue creada con el propósito de facilitar la aplicación de encuestas sin necesidad de una conexión a internet. Su funcionalidad incluye cuatro etapas. La primera permite descargar las encuestas en los teléfonos celulares; la segunda permite acceder a la aplicación de encuestas en el campo sin acceso a internet; en la tercera se descargan las respuestas de la encuesta y se actualiza el documento general. Finalmente, en la cuarta sección se visualiza la información. El diseño de la aplicación contempla una estructura modular asociada a cada una de las etapas de manera que pueda escalarse.

Módulo 1. Descarga de la encuesta en teléfonos celulares

Después de que el encuestador ha descargado la aplicación SIGAE es necesario “bajar” la encuesta de interés. Ésta se descarga desde un servidor de bases de datos (SQL Server). Es importante subrayar que este paso debe realizarse antes de desplazarse al lugar, ya que se realiza con conexión a internet, con el fin de preparar el sistema para la jornada del entrevistador (figura 1).

Figura 1. Arquitectura del sistema: módulo 1



Módulo 2. Aplicación de la encuesta sin acceso a internet

Una vez que la aplicación se ha descargado en el teléfono celular, y actualizada la encuesta en el sistema, está lista para que el entrevistador la aplique sin acceso a internet. El entrevistador captura las preguntas del encuestado y las almacena en la base de datos SQLite, que mantiene la información en el teléfono celular del encuestado. Es importante mencionar que el requisito de almacenamiento de las encuestas es mínimo, ya que sólo se almacena el texto asociado a las encuestas aplicadas por cada uno de los encuestadores (figura 2).

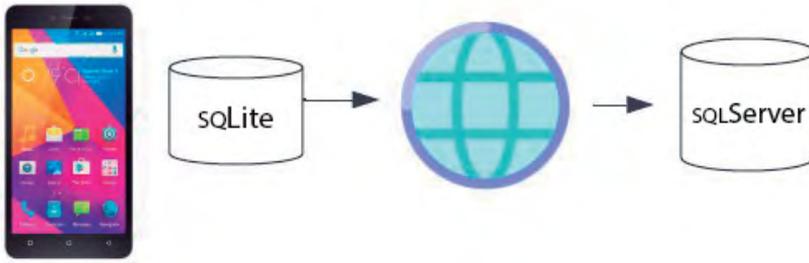
Figura 2. Arquitectura del sistema: módulo 2



Módulo 3. Sincronización de encuestas

Finalizado el trabajo de campo en las áreas sin acceso a internet, el siguiente paso es sincronizar la encuesta. Una vez concluida la jornada de la brigada y de vuelta a los puntos de reunión, la aplicación se conecta a internet y descarga automáticamente los datos a un servidor SQL donde se integra el total de las encuestas realizadas (figura 3).

Figura 3. Arquitectura del sistema: módulo 3



Módulo 4. Visualización de los resultados de las encuestas

En la aplicación SIGAE, el último módulo del sistema permite visualizar los datos de las encuestas, pues genera un informe global del número total de dichas encuestas del mismo cuestionario. La visualización puede lograrse en un archivo de Excel en el teléfono celular o en el correo electrónico (figura 4).

Figura 4. Arquitectura del sistema: módulo 4



En su pantalla principal el sistema contiene las siguientes opciones: 1) *Aplicar una nueva encuesta*, que permite, después de descargar la encuesta en el teléfono celular, comenzar a recopilar nuevos datos; 2) *Descargar encuestas*, que permite conectarse al servidor de la base de datos para descargar una encuesta realizada previamente y lista para ser aplicada sin conexión a internet; 3) *Generar informes*, que permite visualizar los resultados de las encuestas, ya sea en Excel en el teléfono celular o en el correo electrónico (figura 5).

Figura 5. Captura de las opciones de la aplicación SIGAE



Diseño de la aplicación de cuestionarios digitales

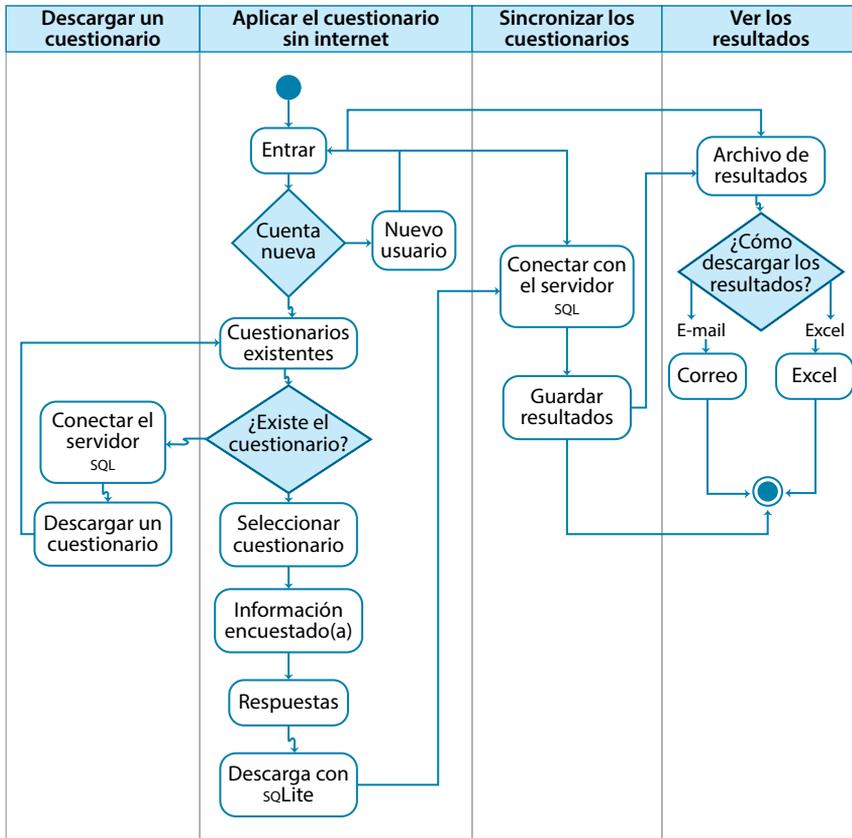
La metodología ágil SCRUM se utilizó como un marco de gestión de proyectos para permitir que el equipo estructure y gestione el trabajo en el desarrollo de la aplicación, como una herramienta que aborda sistemas complejos que requieren generar funciones de manera incremental (Hron y Obwegeser, 2018; Mishra y Alzoubi, 2023; Sinha y Das, 2021). La *app* Cuestionarios Digitales está diseñada para ser utilizada en un teléfono celular con sistema operativo Android. Después de analizar los requisitos del sistema por parte del equipo de diseñadores y programadores, junto con los usuarios finales, se determinó que los cuestionarios deben incluir los siguientes tipos de preguntas:

1. Preguntas abiertas largas con una longitud de 500 caracteres.
2. Preguntas abiertas cortas con una longitud de 50 caracteres.
3. Preguntas de opción múltiple con opciones cerradas.
4. Preguntas de elección única o de opción cerrada.
5. Fechas de captura.
6. Horarios de captura.
7. Preguntas de opción múltiple con opción "Otros".
8. Preguntas de elección única con opción "Otros".

Puesto que esta aplicación está destinada a cubrir varias encuestas en estudios futuros, incluye una página de portada inicial con información del entrevistador y del proyecto, seguida de la identificación del encuestado. Luego, el sistema debe cargar diferentes encuestas y asociarlas con el proyecto y el investigador correspondientes.

La lógica seguida por la *app* Cuestionarios Digitales involucra cuatro escenarios: 1) Descargar la encuesta en el teléfono celular del entrevistador. 2) Aplicar la encuesta sin acceso a internet. 3) Sincronizar la encuesta. 4) Visualizar los resultados. La aplicación tiene una secuencia de actividades que se pueden ver en el diagrama de actividades de la figura 6.

Figura 6. Diagrama lógico de la aplicación Cuestionarios Digitales



Con base en la metodología SCRUM, la propuesta de diseño se presentó a los investigadores y a los encuestadores. Los comentarios llevan a ajustes en el *backlog* de la etapa de implementación. Se definen *sprints* de una semana y el propietario del producto verifica el cumplimiento de los requisitos del producto de cada *sprint*. Se utiliza Jira® como herramienta de seguimiento, ya que es una aplicación web colaborativa para la gestión de proyectos.

Implementación de la aplicación de cuestionarios digitales

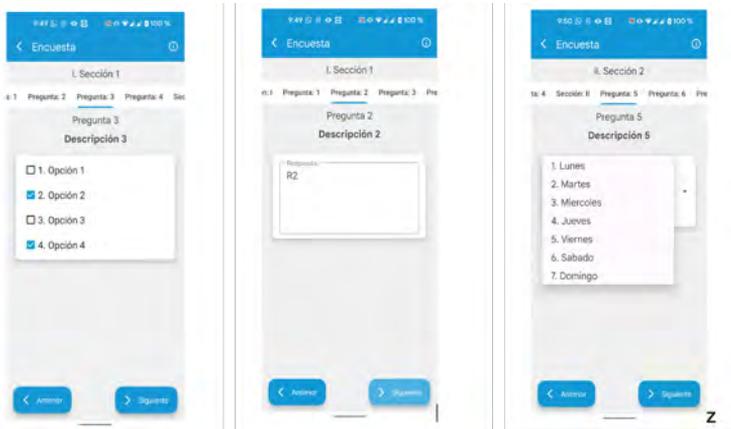
Para instalar la *app* Cuestionarios Digitales en un teléfono celular con sistema operativo Android, el encuestador debe aceptar de manera explícita su instalación y participar en la aplicación de la encuesta. Los cuestionarios contienen 122 preguntas, cuyos tipos se pueden ver en la última columna de la tabla 1. Una vez que el encuestador selecciona y descarga la encuesta, al abrir el sistema se le proporciona información general sobre la encuesta, quién es el responsable del estudio, su objetivo y las instrucciones para completar la encuesta (véase figura 7).

Figura 7. Imagen de la información inicial de la encuesta e identificación del encuestado



La implementación del cuestionario está asociada a una cédula de salud para cada familia. El cuestionario consta de 122 preguntas y presenta bifurcaciones o saltos asociados al número de integrantes y a la edad de los miembros de la familia. Además, el sistema tiene la posibilidad de cargar diferentes encuestas para poder asociarlas con el proyecto y con el investigador. En la figura 8 se muestran algunos ejemplos de los tipos de formatos disponibles: preguntas de opción múltiple, preguntas abiertas y preguntas sobre los días de la semana.

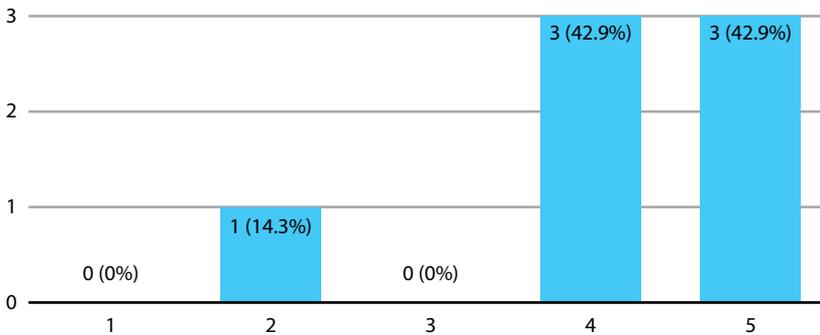
Figura 8. Ejemplos de estructuras para implementar las preguntas



Resultados

Como parte de las prácticas de mejora continua, se desarrolló un formulario de Google para obtener retroalimentación de quienes aplicaron las encuestas sobre su experiencia. Como resultado, la figura 9 resume las respuestas sobre la experiencia de campo de los encuestadores después de aplicar los cuestionarios. Las preguntas son tipo Likert y contemplan una escala del 1 al 5, donde 1 representa “Muy difícil” y 5 “Muy fácil”. Los resultados en porcentaje fueron los siguientes: 42.9% percibió su uso como “Muy fácil”, 42.9% como “Fácil” y 14.3% como “Difícil”.

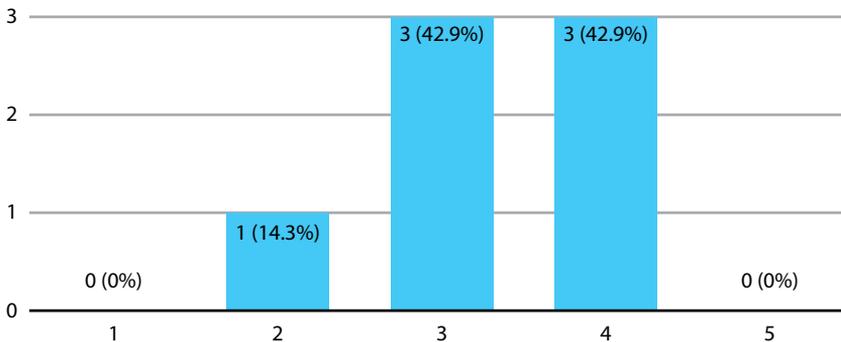
Figura 9. ¿Qué tan difícil fue usar la aplicación móvil para las encuestas?



Nota: 1= Muy difícil; 2= Difícil; 3= Poco fácil; 4= Fácil; 5= Muy fácil.

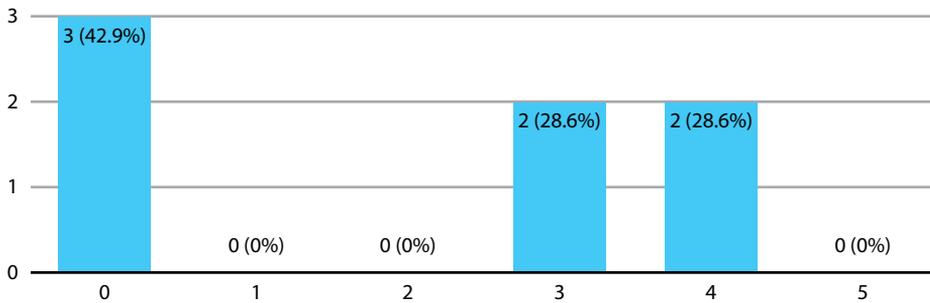
En cuanto a la pregunta “¿Qué tan útil le resultó la aplicación de celular?”, se aplicó una escala del 1 “Nada útil” al 5 “Muy útil” (figura 10). Los resultados fueron los siguientes: 42.9% la consideró “Útil”, 42.9% “Algo útil” y 14.3% “Poco útil”. En la última pregunta (véase figura 11), “¿Qué tan fácil fue resolver los problemas que surgieron en la aplicación?”, se utilizó una escala de 0 “No tuvo problemas” a 5 “Muy complicado de resolver”. Los resultados fueron éstos: 42.9% no tuvo problemas, 28.6% los encontró más o menos complicados y 28.6% los consideró complicados. Es importante mencionar que las personas que ya sabían cómo usar teléfonos inteligentes fueron las que mejor se adaptaron a la aplicación.

Figura 10. ¿Qué tan útil le resultó la aplicación de celular?



Nota: 1 = Nada útil; 2 = Poco útil; 3 = Algo útil; 4 = Útil; 5 = Muy útil.

Figura 11. ¿Qué tan fácil fue resolver los problemas que surgieron en la aplicación?



Nota: 0 = No presentó problemas; 1 = Muy fácil de resolver; 2 = Fácil; 3 = Más o menos complicado; 4 = Complicado; 5 = Muy complicado.

Discusión

En la mayoría de los hogares, el acceso a internet se ha vuelto común a través de los teléfonos celulares, pero es esencial destacar que muchas familias, especialmente en las áreas rurales, aún carecen de este servicio con acceso público. Según cifras proporcionadas por el Gobierno de México (2023), estas áreas albergan a una población considerable de 26.9 millones de habitantes. Lamentablemente, la falta de acceso a internet ha llevado a que las aplicaciones empresariales descuiden la posibilidad de digitalizar información en estas regiones.

La metodología implementada en este estudio proporcionó un enfoque sólido y coherente para la recopilación y el análisis de datos de salud familiar en la comunidad. Cada fase se diseñó cuidadosamente para garantizar la eficiencia y la precisión de los resultados.

En este contexto, este artículo presenta la aplicación móvil Cuestionarios Digitales como una solución efectiva para la recopilación de información en áreas sin acceso público a internet, específicamente en la comunidad de Tampamachoco, en la localidad de Tuxpan, Veracruz. Esta aplicación fue sometida a pruebas por los miembros de la brigada del IPN, quienes jugaron un papel esencial en su evaluación. Los resultados de la experiencia reflejan que 42.9% de los usuarios no tuvo problemas al utilizar la aplicación, mientras que 28.6% la encontró relativamente fácil y 28% la consideró com-

plicada. Los miembros de la brigada aportaron valiosas observaciones para mejorar la aplicación, como cambios en etiquetas o formatos de fecha. En general, coincidieron en que la aplicación resulta intuitiva y sencilla para aquellos que tienen experiencia en el manejo de aplicaciones móviles.

Los Cuestionarios Digitales se implementaron en dispositivos móviles que utilizan el sistema operativo Android y emplean SQLite para almacenar información temporal y una base de datos SQL Server para datos permanentes. Los resultados se consolidaron en archivos de Excel, lo que agilizó el acceso y el procesamiento de datos, sin faltantes ni ambigüedades en las respuestas.

La capacitación de los encuestadores en el uso de la aplicación fue eficiente, pues requirió menos de una hora de formación. Los encuestadores, a pesar de sus diferentes perfiles, pudieron desempeñar sus roles asignados con eficacia tras una breve capacitación. Este hecho resalta la facilidad de adaptación de las nuevas generaciones a las herramientas digitales.

Desde la perspectiva tecnológica, la inclusión de metodologías actuales de diseño e implementación, y un enfoque de diseño centrado en el usuario permitieron el desarrollo de un sistema adecuado que considera las necesidades de las áreas rurales. La solución propuesta tomó en cuenta las condiciones de las áreas rurales y la infraestructura disponible para visitar lugares remotos, lo que facilitó la recopilación de un mayor número de encuestas.

En resumen, el sistema cumplió con éxito su objetivo inicial y, al mismo tiempo, plantea una oportunidad para cerrar la brecha tecnológica y brindar herramientas accesibles para intervenciones directas en las comunidades, beneficiando a la sociedad en su conjunto.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto Politécnico Nacional de México por el apoyo financiero a través del proyecto “Modelos multidimensionales de series temporales asociadas a la contaminación antrópica en organismos marinos consumidos por humanos y su efecto en su salud general” (SIP 20211164, 20220701, 20230872) durante el periodo 2021-

2023. Este respaldo fue fundamental para llevar a cabo esta investigación multidisciplinaria y contribuir al avance del conocimiento en este campo.

Los autores también expresan su agradecimiento a los miembros de la brigada de salud del Instituto Politécnico Nacional que aplicaron el cuestionario en la localidad: Fernando Alfonso Ortiz Ortiz, Óscar de Jesús Bravo Marín y Rodrigo Román Escobar, de la ENMYH, así como a Frida de la Cruz Sánchez y Vania Jhoana Muñoz Serralde, de la UPIBI, y a Amaury Santiago Horta de la UPIITA, por su valiosa contribución y dedicación en la realización de este estudio. Su compromiso y su esfuerzo fueron fundamentales para el éxito de nuestra investigación.

Extendemos nuestro agradecimiento a los miembros de las familias de la comunidad de la Laguna de Tampamachoco. A su invaluable colaboración al responder las encuestas y aprobar el uso de sus datos y a su cálido recibimiento durante el desarrollo del estudio. Su participación ha enriquecido nuestra investigación y ha contribuido significativamente a la comprensión de los temas abordados. Estamos agradecidos por su generosidad y por su disposición para contribuir al avance del conocimiento.

Referencias

- Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J. R., y Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación: elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención Primaria*, 31(8), pp. 527-538. [https://doi.org/10.1016/S0212-6567\(03\)70728-8](https://doi.org/10.1016/S0212-6567(03)70728-8).
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2022). *Resultados de medición de la calidad del agua: Veracruz de Ignacio de Llave*. Conagua. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>.
- Gobierno de México (2023). *¿Qué nos dice el Censo de Población sobre la juventud rural en nuestro país?* <https://www.gob.mx/siap/articulos/que-nos-dice-el-censo-de-poblacion-sobre-la-juventud-rural-de-nuestro-pais?idiom=es>.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (vol. 4, pp. 310-386). McGraw-Hill Interamericana.
- Hron, M., y Obwegeser, N. (2018). *Scrum in Practice: An Overview of Scrum Adaptations*. <http://hdl.handle.net/10125/50568>.
- Huang, Ch.-Ch., Tseng, T.-L., Li, M.-Zh., y Gung, R. R. (2006). Models of multi-dimensional analysis for qualitative data and its application. *European Journal of Operational Research*, 174(2), pp. 983-1008. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.07.021>.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2021). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2021*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2021/#Tabulados>.
- Llerena-Martínez, G. A., y Terrones-Okamura, C. R. (2018). *El diseño pensamiento aplicado en el desarrollo de un sistema de información permite aumentar la satisfacción de los operadores al reducir los tiempos de atención de recursos humanos*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Mahalakshmi, M., y Sundararajan, M. (2013, junio). Traditional SDLC vs. Scrum methodology: A comparative study. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6), pp. 192-196. https://www.ijetae.com/files/Volume3Issue6/IJETAE_0613_32.pdf.
- McKeown, Th., y Lowe, C. R. (1989). *Introducción a la medicina social*. Siglo XXI.
- Mishra, A., y Alzoubi, Y. I. (2023). Desarrollo de software estructurado vs. desarrollo de software ágil: un análisis comparativo. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 14, pp. 1504-1522. <https://doi.org/10.1007/s13198-023-01958-5>.
- Organización Panamericana de Salud (OPS) (2022a). *Determinantes sociales de la salud*. OMS. <https://www.paho.org/es/temas/determinantes-sociales-salud>.
- (2022b). *México*. OMS. <https://www.paho.org/es/mexico>.
- Patten, M. L., y Newhart, M. (2018). *Comprendiendo los métodos de investigación: una visión general de los fundamentos* (10ª ed.). Routledge.
- Rojas, V. M. N. (2021). *Metodología de la investigación: diseño, ejecución e informe*. Ediciones de la U.
- Sinha, A., y Das, P. (2021). *Metodología ágil vs. SDLC tradicional en cascada: un estudio de caso sobre el proceso de aseguramiento de calidad en la industria del software* [ponencia]. V Conferencia Internacional sobre Electrónica, Ingeniería de Materiales y Nanotecnología (IEMENTech). IEEE.
- Villasís-Keever, M. Á., y Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación, 2: diseños de estudio para investigación clínica. *Revista Alergia México*, 63(1), pp. 80-90. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i1.163>.
- World Health Organization (WHO), Global Programme on Evidence for Health Policy. (2003). *Guidelines for WHO guidelines*. WHO. <https://iris.who.int/handle/10665/68925>.

IX. Impacto de la pandemia en el sistema educativo mexicano: desafíos y brechas para la equidad educativa

VERÓNICA CRUZ-MORALES*

JAIME ALEJANDRO GUEVARA-VALDEZ**

GUADALUPE BENAVIDES-OJEDA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.09>

Resumen

El sistema educativo mexicano atiende a más de 54 millones de estudiantes en diversos niveles y modalidades. Este estudio busca identificar los efectos perjudiciales y las disparidades educativas enfocándose en la transición al aprendizaje a distancia, la brecha digital, las repercusiones en el aprendizaje y en el desarrollo socioemocional de los estudiantes y los desafíos para lograr la equidad educativa. Se utilizó una metodología mixta que incluyó la revisión documental, la etnografía educativa con encuestas y entrevistas a docentes de educación básica, media y superior. Los datos muestran aumentos en el rezago escolar y en el abandono educativo, así como una disminución del interés en programas relacionados con el ambiente y la salud. Se identificaron desafíos asociados con la transición al aprendizaje a distancia y la brecha digital, los cuales han impactado negativamente el proceso de aprendizaje y el desarrollo socioemocional de los estudiantes. De esto

* Doctora en Ciencias Administrativas. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la Escuela Superior de Comercio y Administración (ESCA), unidad Santo Tomás, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8224-517X>; Autora de correspondencia: vcmorales217@gmail.com

** Doctor en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-9308>

*** Doctora en Derecho y Ciencias Jurídicas y en Juicio Oral y Derechos Humanos. Subdirectora de Servicios Educativos e Integración Social de la Escuela Superior de Comercio y Administración (ESCA), unidad Santo Tomás, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0856-2699>

se desprende la necesidad de mejorar procesos de enseñanza-aprendizaje y la urgencia de adaptar políticas educativas a las nuevas realidades que impuso la pandemia por covid-19. Se concluye la urgente necesidad de unir esfuerzos para garantizar la equidad en el acceso a la educación en México. Es fundamental abordar las disparidades educativas y desarrollar estrategias efectivas para superar los desafíos planteados por la pandemia. La colaboración entre docentes, instituciones educativas y políticas públicas desempeña un papel esencial en la mejora del bienestar general y en la construcción de un sistema educativo inclusivo y resiliente ante futuras adversidades.

Palabras clave: *desafíos educativos, colaboración educativa, mejoras en la enseñanza, tecnologías para la educación, innovación para la educación.*

Introducción

La pandemia de covid-19 dejó una profunda marca en el sistema educativo global, forzando una rápida transición hacia el aprendizaje a distancia. En el caso de México, esta transición expuso desafíos significativos, con la brecha digital emergiendo como uno de los más notables, exacerbando las disparidades educativas y dañando el desarrollo socioemocional y afectando de manera drástica la experiencia y el proceso de aprendizaje de los estudiantes (Jaramillo-Baquerizo, 2021). Esta realidad impulsó la necesidad urgente de reevaluar las políticas educativas y fomentar la equidad en el acceso a la educación.

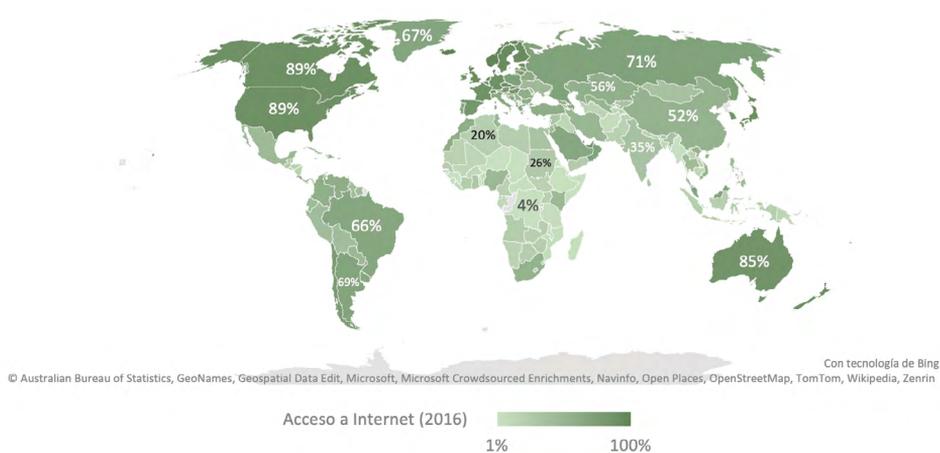
La migración abrupta hacia el aprendizaje a distancia, impulsada por la pandemia, resaltó la importancia de la tecnología en la educación. Sin embargo, la brecha digital se hizo evidente, ya que no todos los alumnos tenían un acceso equitativo a dispositivos y conectividad confiable. Esta desigualdad en el acceso tecnológico generó una división entre aquellos que podían participar activamente en la educación en línea y aquellos que enfrentaban obstáculos para hacerlo (Ramírez-Montoya, 2020). Esto, a su vez, profundizó las inequidades educativas existentes.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el cierre de instituciones educativas consternó a 94% de la población estudiantil a

nivel mundial, es decir, hubo repercusiones en 1.58 mil millones de estudiantes. Este cierre afectó aún más a naciones con recursos limitados, impactando la disparidad de accesos especialmente a estudiantes de comunidades vulnerables o ya marginadas (ONU, 2020, p. 5).

Aunque algunos países monitorean las modalidades reales de educación a distancia, la cobertura es variable. En la figura 1 se puede observar, de acuerdo con la ONU (2020, p. 6), que en naciones de ingresos altos la cobertura de educación en línea alcanza entre 80 y 85%, mientras que en países de ingresos bajos desciende a menos de 50%. Esta brecha se debe en gran parte a la disparidad digital, ya que las comunidades desfavorecidas cuentan con un acceso limitado a servicios esenciales como la electricidad, tienen una infraestructura tecnológica insuficiente y bajos niveles de alfabetización digital entre estudiantes, padres y docentes.

Figura 1. Acceso a internet por países como causa que afectó a estudiantes por el cierre escolar debido a la pandemia por covid-19



Fuente: elaboración en Excel a partir de los datos de Internet Live Stats (2016).

Además, un estudio reciente de la UNICEF en 71 países revela que menos de la mitad de la población tiene acceso a internet, presentando notables desigualdades internas. La disponibilidad de televisión y radio tampoco es uniforme, lo que genera una brecha entre las áreas urbanas y rurales (ONU, 2020, p. 14). En este sentido, en la figura 1 se muestra un mapa que ilustra

la accesibilidad a internet de habitantes por país. Es relevante mencionar que el acceso a internet requiere una infraestructura robusta que dificulta que toda la población pueda tener acceso a este servicio. Incluso países desarrollados tienen una brecha poblacional hasta de 18% que no puede acceder al servicio. Países de todas las regiones presentan rezagos para el acceso a internet. En cambio, los países escandinavos, junto con Gran Bretaña, tienen los porcentajes más altos de acceso al servicio (93%). En el caso particular de México, el acceso a internet representa 45% de la población total, la cual tiene un incremento anual de 1.27% y 2.1% de nuevos usuarios por año (Internet Live Stats, 2016).

Por otro lado, la división que atiende el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, señala que la capacidad de responder al cierre de escuelas cambia drásticamente conforme al nivel de desarrollo de los países. Por ejemplo, durante el segundo trimestre de 2020, el 86% de los niños en educación primaria no asistió a la escuela en países con bajo desarrollo humano, en comparación con sólo 20% en países con un desarrollo humano muy alto (UNDP, 2020).

En el contexto mexicano, debido al cierre de las instituciones educativas, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizó un estudio en 2021 que reveló que alrededor de 740 000 estudiantes mexicanos, de tres a 29 años de edad, no lograron finalizar el nivel educativo en el que estaban inscritos. Sorprendentemente, tan sólo 3% de éstos mencionó que las razones de este fenómeno no tuvieron que ver con los efectos de la pandemia (Carro Olvera y Lima Gutiérrez, 2022).

En este contexto, la falta de acceso a recursos tecnológicos y un entorno poco propicio para el aprendizaje orilló a algunos estudiantes a desconectarse del sistema educativo. Esto no sólo tendrá implicaciones inmediatas en su progreso académico, sino también en sus perspectivas futuras y en sus oportunidades laborales.

El aprendizaje a distancia también presentó desafíos adicionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje. La falta de interacción directa con profesores y compañeros pudo disminuir la motivación y la participación de los estudiantes, como concluye Ramírez-Montoya, (2020). Además, la ausencia de un entorno escolar físico podría haber impactado negativamente en el desarrollo socioemocional de los alumnos, limitando sus oportuni-

des de interacción social, colaboración y desarrollo de habilidades emocionales. Por otro lado, un estudio en México reveló que las principales problemáticas a las que se enfrentaron los profesores estuvieron relacionadas con situaciones logísticas (43.3%), tecnológicas (39.7%), pedagógicas (35.2%) y socioafectivas (14.9%) (Ramírez-Montoya, 2020, p. 100).

Según las proyecciones proporcionadas por el Banco Mundial, en México la pandemia provocó un retroceso educativo equivalente a dos años de escolaridad. Previamente al brote de la pandemia, los ciudadanos mexicanos solían adquirir conocimientos que se alineaban con el nivel educativo correspondiente al tercer año de secundaria. En la actualidad, el nivel de conocimiento alcanzado apenas llega al equivalente del primer año de secundaria (IMCO, 2021).

Por otro lado, en nuestra investigación los datos muestran una disminución del interés por programas educativos relacionados con el medio ambiente y la salud. Esto podría atribuirse a la limitada interacción de profesores y alumnos, así como a la dificultad de replicar experiencias prácticas en un entorno virtual. Estos cambios en las preferencias educativas podrían haber tenido efectos a largo plazo en la formación de recursos humanos, en áreas críticas fundamentales para el desarrollo sostenible.

En este contexto, esta investigación pretendió identificar los efectos y los desafíos que contrajo la pandemia por covid-19 en la educación mexicana, que se encuentra en transición hacia el uso de las tecnologías para la mejora educativa en los diversos niveles y modalidades, cuando millones de estudiantes sufren los efectos de la brecha digital y enfrentan los desafíos de la inclusión social.

Brecha digital y desigualdad como impactos develados por la pandemia

La educación en México ha sido un tema recurrente en las disputas políticas de diferentes gobiernos a lo largo del tiempo debido a la complejidad de atender a la población multicultural. Se debe considerar que en las tierras de México florece un mosaico de 68 etnias, cada una encarnando su propia historia, lengua y tradiciones arraigadas. Estas etnias representan 10% de la población

total del país (Aguillar Edwards, 2014). Estas comunidades resplandecen con sus diferencias lingüísticas, creencias políticas y cosmovisiones religiosas, las cuales también requieren atención del sistema educativo mexicano.

Es innegable que la pandemia de covid-19 tuvo un impacto significativo en el sistema educativo mexicano, generando desafíos y exacerbando las brechas existentes en la equidad educativa. La brecha digital, como un claro ejemplo de esta problemática, se magnificó entre los estudiantes que carecían de acceso a la web y a herramientas digitales debido a cuestiones de geolocalización y a problemas socioeconómicos, lo cual afectó el bienestar y el desarrollo de los alumnos.

No obstante, resulta más sencillo para los estudiantes adquirir con rapidez las destrezas digitales y adaptarse a su uso, que para el cuerpo docente y administrativo lograr una transición igualmente ágil del modelo educativo tradicional a uno basado en tecnologías digitales. Esta dinámica conlleva no sólo un desequilibrio en lo que se refiere a las habilidades que deben ser dominadas, sino también un desafío en el proceso de enseñanza-aprendizaje, donde se entrelazan necesariamente los diversos componentes del sistema educativo (Sánchez Carlos *et al.*, 2020).

Adicionalmente, en el panorama general de los factores que inciden en el abandono escolar, destacan elementos como el cambio de residencia, la merma de motivación, el bajo rendimiento en asignaturas de aprendizaje, el padecimiento de adicciones, la limitación económica, la enfermedad, la carencia de equipamiento e instalaciones escolares adecuadas, la maternidad/paternidad temprana y las responsabilidades conyugales, así como la mayor valoración del trabajo frente al estudio. Se argumenta que estos factores se acentuaron durante la pandemia de covid-19 y revelaron las desventajas que los estudiantes de contextos socioeconómicos y orígenes limitados enfrentan. A su vez, se expusieron las desigualdades a las cuales está expuesta la institución educativa (Alejo López y Estrada Ruiz, 2020).

Por ende, la brecha digital representó uno de los desafíos más importantes. El acceso a internet en las zonas rurales de México a finales de 2018 era muy limitado, con apenas 19% de penetración en las viviendas (Martínez Domínguez, 2020). La falta de acceso a tecnología y conectividad fue evidente para muchos estudiantes. La transición al aprendizaje en línea, previa y durante la pandemia, puso de manifiesto la brecha digital existente

en México en diversos contextos y culturas, especialmente en comunidades rurales y de bajos recursos, donde los estudiantes no tenían acceso a dispositivos electrónicos ni a internet. Estas desigualdades se atribuyen a los desafíos geográficos, topográficos y demográficos y al aislamiento que caracteriza a las comunidades rurales al intentar proveer servicios de telecomunicaciones.

Otro impacto importante —agravado antes, durante y después de la pandemia— fue la desigualdad socioeconómica, con fuertes implicaciones para las familias y, por ende, para los estudiantes. Y es que 55.3% de los residentes rurales en 2018 se encontraba en condiciones de pobreza, según datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social (Coneval) (Martínez Domínguez, 2020). Así, la falta de recursos económicos para adquirir dispositivos electrónicos, las limitaciones de espacio y apoyo en el hogar impactaron negativamente en su aprendizaje y muchos optaron por abandonar la escuela al no poder adaptarse a las clases virtuales (Martínez Domínguez, 2020).

De este contexto, según algunas investigaciones, la disparidad en competencias socioeconómicas podría incrementarse más de 30% debido a los efectos de la pandemia (ONU, 2020). De acuerdo con el Banco Mundial, se presentan tres escenarios en relación con la pérdida de aprendizaje: la disminución del nivel promedio de conocimientos entre todos los estudiantes, el ensanchamiento de la brecha en el rendimiento académico debido a los impactos desiguales de la crisis en diversas poblaciones, y el incremento significativo de alumnos con bajo rendimiento debido, en parte, a la oleada de abandonos escolares. Así, el cierre de escuelas podría ocasionar que hasta 25% adicional de estudiantes no alcance el nivel elemental de habilidades necesarias para una participación efectiva y productiva en la sociedad y en su futuro aprendizaje (ONU, 2020).

La interrupción de las clases presenciales provocó un aumento en la deserción escolar. Muchos estudiantes no lograron adaptarse al aprendizaje en línea o tuvieron que dejar la escuela para contribuir económicamente al sostenimiento de sus familias. Esto tuvo un impacto negativo en su acceso a la educación y en sus oportunidades futuras. Por ejemplo, en 2020, la Secretaría de Educación Pública estimó la pérdida de estudiantes en 8% para el nivel superior, lo que significaba 320 000 alumnos. Las estimaciones del PNUD duplicaban esa cantidad, ubicándola cerca de 630 000 (Schmelkes,

2020). Además, se estima que alrededor de 10% de la matrícula de educación básica (equivalente a cerca de 2.5 millones de alumnos) abandonó sus estudios durante este periodo, según datos de la SEP. En particular, aproximadamente 800 000 estudiantes no lograron avanzar de la secundaria al bachillerato durante el ciclo 2020-2021, además de prever que 10% de los alumnos de nivel básico y 8% de nivel superior abandonarían sus estudios debido a la pandemia. Según Roldán (2020), citado por Amauri Gallegos de Dios, (2022), en lugar de una tasa prevista de exclusión educativa de 18% en 2020, las perspectivas sugieren que ésta podría ascender a 22%, lo que supondría un retroceso a niveles similares a los de 2012, marcando prácticamente una década de retroceso en materia educativa.

La transición al aprendizaje en línea generó brechas educativas significativas. No todos los estudiantes tuvieron las mismas oportunidades para acceder a recursos educativos de calidad, recibir apoyo docente o participar en clases virtuales de manera efectiva. Algunos se quedaron rezagados en su aprendizaje debido a la falta de interacción directa con sus maestros y compañeros.

La pandemia también impactó en la salud emocional y en el bienestar de los estudiantes. El aislamiento social, la incertidumbre y el estrés relacionados con la crisis sanitaria afectaron negativamente su bienestar psicológico. Esto podría tener consecuencias en su rendimiento académico y en su desarrollo personal. Por ejemplo, estudios anticiparon que las principales inquietudes de los alumnos giraron en torno de la salud y de la situación económica familiar. Este hecho puede comprenderse dado que en la etapa adolescente la guía y la protección de la familia siguen siendo esenciales. También, la pandemia y el confinamiento trajeron consigo una gama de experiencias y respuestas emocionales adversas que incluyeron incertidumbre, aburrimiento, frustración, angustia, estrés, tristeza, irritabilidad, enojo, dificultades para conciliar el sueño y cambios en los hábitos alimenticios (Esparza Meza *et al.*, 2022).

Asimismo, durante la pandemia de covid-19 se pudo constatar un aumento constante y rápido en los niveles de estrés entre los estudiantes universitarios. Éste se manifiesta junto con sentimientos de soledad y con una percepción de falta de control, lo cual sin duda impacta tanto en el desempeño académico como en la salud mental de los alumnos. Este periodo de

la pandemia de covid-19 provocó un notable aumento en el estrés académico y en los trastornos mentales, tales como la depresión y la ansiedad. Investigaciones han concluido que este incremento estuvo influido por diversas fuentes de estrés, tales como el distanciamiento social, la sobrecarga de tareas académicas, las altas expectativas de los docentes y la incertidumbre en cuanto a los recursos económicos disponibles, particularmente en el nivel superior o universitario (Zambrano Bermeo *et al.*, 2023).

Por otro lado, en el caso de los profesores o docentes, la pandemia puso de manifiesto la vulnerabilidad inherente a la profesión, evidenciando el desequilibrio entre vida y trabajo, la carga excesiva de labores y la preocupación constante por el bienestar de los estudiantes, así como por temas de contagio y salud. Adicionalmente, se resalta que las mujeres, los docentes más jóvenes, aquellos que imparten clases en niveles de educación básica y media, los cuidadores y aquellos que presentan síntomas o fueron diagnosticados personal o familiarmente con covid-19, fueron los más susceptibles a enfrentar desafíos de salud mental. A pesar de que únicamente 29.4% de los docentes admitió no haber compartido sus síntomas con nadie, se evidencia un impacto significativo en las relaciones personales (Orrego Tapia, 2022).

Por lo anterior, en los aspectos mencionados se experimentaron los impactos de la pandemia, donde los docentes de los diferentes niveles y modalidades educativas en México demostraron su compromiso por la educación de niños, adolescentes y jóvenes, buscando las formas de estar presentes en sus vidas. La comunicación y la motivación ayudaron a que muchos estudiantes continuaran sus estudios a pesar de las circunstancias y juntos aprendieron a ser resilientes.

Materiales y métodos

Se empleó la metodología de etnografía educativa para llevar a cabo este estudio. Con base en este enfoque se llevaron a cabo encuestas a 570 alumnas de educación secundaria con el propósito de analizar el incremento del rezago escolar tras la pandemia. Estas encuestas se dirigieron a estudiantes de tercero de secundaria que habían solicitado presentar el examen

COMIPEMS para acceder a la educación media superior en la Ciudad de México.

Asimismo, en relación con la educación superior, se aplicaron encuestas a 500 estudiantes provenientes de distintas licenciaturas de la unidad Santo Tomás del Instituto Politécnico Nacional, también en la Ciudad de México. El enfoque de esta parte del estudio consistió en evaluar el uso de herramientas digitales y el acceso a la educación 4.0. Se tuvo en cuenta la implementación de la educación a distancia mediante tecnologías digitales con el objetivo de generar conocimiento, lo cual tuvo un impacto social significativo.

El instrumento utilizado para recolectar datos fue un cuestionario elaborado en la plataforma digital Google Forms. El cuestionario incluyó una variedad de tipos de preguntas: abiertas, cerradas, de opción múltiple y tipo Likert, distribuidas en cinco secciones:

1. Datos generales de los participantes.
2. Evaluación de la infraestructura tecnológica institucional.
3. Identificación de las herramientas digitales disponibles en el hogar.
4. Exploración de las competencias tecnológicas tanto de estudiantes como de docentes.
5. Análisis del uso real de las herramientas digitales.

El alcance de la investigación abarcó un amplio espectro de niveles educativos, ya que se involucraron estudiantes de educación básica, media superior y superior. Para la selección de la muestra se optó por un muestreo voluntario, que, de acuerdo con la explicación de Sánchez *et al.* (2015), se basa en la voluntad de los individuos de la población para participar en una encuesta o un experimento.

La participación de docentes de diferentes niveles fue esencial para el desarrollo del estudio, puesto que ellos tenían acceso a los medios tecnológicos requeridos para completar el cuestionario y permitieron al investigador realizar observaciones participativas en el contexto de los sujetos de estudio. Esta interacción enriqueció considerablemente la calidad de la investigación.

Cabe señalar que se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los participantes, incluyendo el de los estudiantes menores de edad. Además, se contó con el permiso firmado por los padres de familia, garantizando así

el uso adecuado y confidencial de los datos generales. Agradecemos sinceramente la colaboración de los participantes en este estudio, a quienes respetamos siempre sus derechos y su privacidad.

La información fue recolectada durante el ciclo 2022-2023. Los estudiantes de secundaria participaron voluntariamente con el consentimiento de sus padres, los estudiantes de educación media y superior hicieron lo mismo.

Resultados

Mediante la utilización de cuestionarios administrados a través de Google Forms se logró conocer las necesidades, los impactos y los desafíos que caracterizan el panorama educativo en México. En un primer análisis se destaca que 96% de las 570 estudiantes de educación secundaria participantes en el estudio afirmaron tener acceso constante a un teléfono celular. En la tabla 1 se muestran de manera general los resultados obtenidos de los temas que se sometieron al cuestionario. Cabe mencionar que en esta tabla los resultados representan a niñas con un promedio de edad de 15 años, alumnos del tercer grado de secundaria.

Tabla 1. Perfil tecnológico y uso de dispositivos entre 570 estudiantes de secundaria

<i>Infraestructura tecnológica institucional</i>	<i>Infraestructura tecnológica en el hogar</i>	<i>Competencias tecnológicas</i>	<i>Tiempo y uso de las herramientas</i>
En secundarias públicas, 92% de los alumnos tiene acceso limitado a la web debido a la compartición de computadoras en salas de cómputo. El 86% accede a internet en estas condiciones.	El 91% dispone de acceso a internet y cuenta con celulares y computadoras para las tareas escolares.	El 84% posee conocimientos básicos de computación.	Los adolescentes destinan la mayor parte de su tiempo en dispositivos móviles para actividades de entretenimiento.
Los estudiantes de escuelas privadas no comparten equipos.			

Fuente: elaboración propia.

La persistente inquietud en distintos niveles educativos proviene de los indicadores uniformes en cuanto al uso de herramientas digitales, junto con las brechas que subsisten en la adopción tecnológica, como se observa en los datos de la tabla 1. Estas discrepancias se originaron a raíz de una serie

de contradicciones que minaron el proceso de aprendizaje de los estudiantes, generadas por un uso inapropiado de las herramientas digitales. Muchos alumnos se vieron afectados debido a la distracción que estas herramientas pueden ocasionar cuando no se cuenta con hábitos de estudio sólidamente establecidos en el entorno familiar y respaldados en el contexto escolar.

Asimismo, los docentes han mostrado una constante preocupación durante la pandemia, dado que numerosos alumnos abandonaron sus estudios por diversas circunstancias. Éstas van desde la carencia de acceso a tecnologías hasta dificultades familiares y problemas socioemocionales, los cuales impactaron negativamente en el proceso de desarrollo y aprendizaje de cada uno de los estudiantes.

En la tabla 2 se describen los temas que se consideraron en el cuestionario que se aplicó a las estudiantes de secundaria en la Ciudad de México. Los cinco apartados describen los datos obtenidos de alumnos del tercer nivel de secundaria. De éstos, 8% no manifestaron una intención de seguir con sus estudios de educación media superior. También destaca que la mayoría de ellos vive en un entorno familiar favorable. Otro punto que hay que destacar es que la infraestructura para el acceso a internet y a computadoras en la escuela en términos generales se puede calificar de intermedio, y en cuanto a este acceso en el hogar la mayoría de las alumnas manifiesta que el acceso y la conexión a internet son buenos, que tienen los dispositivos necesarios para realizar sus tareas y sus trabajos escolares, y que sus conocimientos en cuanto al uso de los dispositivos también son buenos (véase tabla 2). De estos datos destaca que la mayoría de los estudiantes de secundaria de tercer grado tiene acceso a un celular y que destina demasiado tiempo usando este dispositivo, que si bien puede ser una herramienta para apoyar su educación, tiene muchas probabilidades de destinarse a interactuar en redes sociales y a otras distracciones.

Las adolescentes indicaron que poseen habilidades en algunas aplicaciones como Facebook, WhatsApp, Instagram, Classroom, Twitter, YouTube y TikTok, principalmente para entretenimiento y redes sociales. También han utilizado herramientas como Google Meet para tomar clases virtuales, que aprendieron durante la pandemia. Además, mencionaron el uso de Google para búsquedas y Pinterest y otras herramientas para prepararse para el examen de ingreso a educación media superior.

Tabla 2. Información recabada del instrumento de investigación aplicado a estudiantes de nivel secundaria en la Ciudad de México

<i>Apartado de la encuesta</i>	<i>Ítem</i>	<i>Dato obtenido</i>
<i>Datos generales</i>	Nivel educativo	Secundaria 92%
	Sexo	Femeninas
	Edad	15 años
	Participantes	570
	Vive con ambos padres	89%
	Concursa a media superior	92%
<i>Infraestructura tecnológica institucional</i>	Acceso a internet en la escuela	86%
	Sala de cómputo con acceso a internet	70%
	Las computadoras se comparten	90%
	Las aulas cuentan con dispositivos de proyección	5%
	Las computadoras se encuentran en buen estado	50%
<i>Infraestructura tecnológica en el hogar</i>	Cuentan con servicio de internet en casa	95%
	La calidad del servicio de internet es buena	72%
	La velocidad de internet permite trabajar sin problema	68%
	Los alumnos cuentan con dispositivos tecnológicos	92%
	Los alumnos realizan tareas haciendo uso de herramientas digitales	95%
<i>Competencias en el uso de herramientas digitales</i>	Los alumnos cuentan con conceptos básicos de computación	55%
	Los alumnos manejan los elementos básicos de la computadora	64%
	Los alumnos tienen la capacidad de manejar las herramientas principales	95%
	El alumno tiene el conocimiento acerca de cómo proteger su información	56%
	El alumno tiene un buen uso de la red y de la información que busca	49%
	El alumno tiene interés en su capacitación digital	83%
<i>Dispositivos</i>	Uso	Tiempo (horas y porcentaje)
Teléfono móvil	Entretenimiento, aplicaciones y tareas	10 horas o más al día (96%)
Lap top	Tareas, videos, investigaciones	De 3 a 6 horas (52%)
Computadora de escritorio	Tareas e investigaciones	De 3 a 6 horas (28%)
Tablet	Dibujos, videos, aplicaciones	De 2 a 5 horas (31%)

Fuente: elaboración propia.

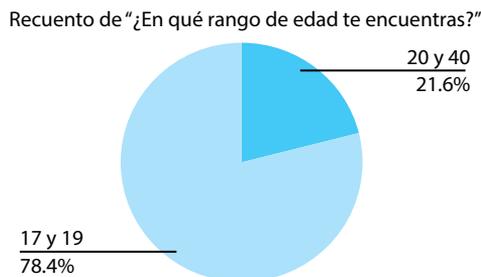
Sin embargo, no todos los estudiantes aprovechan las oportunidades ofrecidas por escuelas urbanas que cuentan con infraestructura tecnológica, debido a diversos acontecimientos en sus vidas, malos hábitos de estudio, conductas propias de la adolescencia, problemas familiares, entre otros. Esto se refleja en las estadísticas del rezago escolar. Aquellos que ca-

recen de oportunidades de acceso a la información forman parte de la brecha digital y quedan excluidos de la comunidad global.

Por otro lado, las entrevistas realizadas a estudiantes de educación superior que se sometieron a cursos extracurriculares para preparar exámenes de selección de carreras profesionales revelaron desafíos significativos. Muchos no cumplen con el perfil académico requerido y presentan deficiencias que se originan en la educación elemental. Además, enfrentan la brecha digital, ya que usan la tecnología principalmente para redes sociales y entretenimiento, lo que afecta su progreso académico.

La muestra seleccionada constó de 500 estudiantes de primer semestre de carreras profesionales en la unidad Santo Tomás del Instituto Politécnico Nacional. Estas carreras incluyeron mercadotecnia digital, negocios internacionales, contaduría pública y comercio internacional. Los participantes, estudiantes del turno vespertino, accedieron de manera voluntaria y proporcionaron información sobre los aspectos mencionados a través de 50 ítems distribuidos en cinco secciones con respuestas tipo Likert. Esta información se analizó para comprender sus opiniones y sus impresiones sobre los desafíos educativos que enfrentan.

Figura 2. Rango de edades

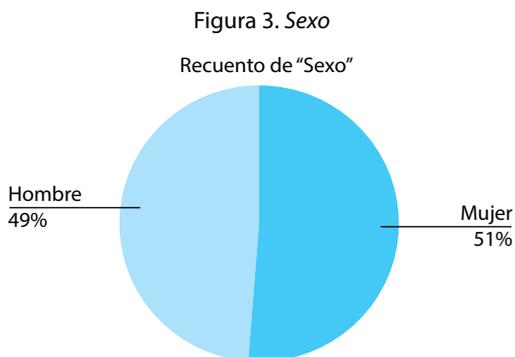


Fuente: elaboración propia.

Los gráficos presentan los porcentajes fiables de acuerdo con el cuestionario aplicado a los jóvenes de educación superior. Los jóvenes de los primeros semestres, comprometidos con sus carreras profesionales, buscan alternativas para la mejora de sus competencias en el uso de las herramientas digitales. En el mismo porcentaje dependen de los recursos financieros

de sus padres. Ahora bien, en la figura 2, la mayoría de los alumnos de nivel superior que respondieron la encuesta de manera voluntaria son del rango de edad entre los 17 y 19 años.

En la figura 3 se muestra que la participación de la mujer en la educación superior está superando el porcentaje de la participación de los varones en las áreas de ciencias sociales.



Fuente: elaboración propia.

La figura 4 muestra que los jóvenes que asisten a la universidad, trasladándose desde muy lejos de la Ciudad de México, tienen el interés de continuar con sus estudios; el mismo porcentaje presenta un impacto significativo en la brecha digital, pues no cuenta con acceso a la web y sus recursos económicos son insuficientes para enfrentar los requerimientos en la universidad y en el hogar.

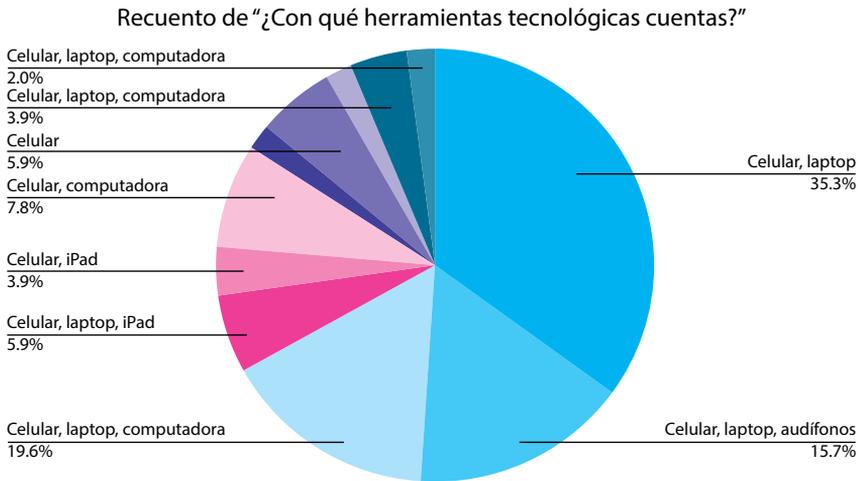
Figura 4. *¿Vive en Ciudad de México o en zona metropolitana y requiere trasladarse desde municipios conurbados o más alejados?*



Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, la figura 5 muestra que los estudiantes universitarios, en su mayoría, cuentan con herramientas tecnológicas que los ayudan en sus avances académicos, aunque en la observación participante se detectó que el mayor tiempo que ocupan el celular es para el entretenimiento en las redes sociales. Por ser grupos de 40 a 50 alumnos en las aulas, la escasa atención en los aspectos académicos tiene que ver con la distracción de las aplicaciones que manejan los estudiantes, como WhatsApp, Instagram, YouTube, Google, Facebook, TikTok, Snapchat y Twitter. Para las investigaciones académicas cerca de 30% recurre a repositorios científicos, lo que indica un bajo nivel en procesos de investigación. Esto se incrementa conforme se avanza en los estudios de pregrado con el acompañamiento del cuerpo académico.

Figura 5. Proporción de herramientas tecnológicas con las que cuentan los estudiantes de nivel superior



Fuente: elaboración propia.

En otro aspecto, se proporcionó información acerca de la infraestructura tecnológica tanto en la universidad como en los hogares de los participantes, con el fin de llevar a cabo un análisis de la brecha digital. Tomando en cuenta el prestigio de esta universidad como una de las mejores del país, se esperaría que disponga de los recursos presupuestarios necesarios

para mejorar su infraestructura tecnológica, lo que a su vez redundaría en una mejora de su oferta académica. Mientras tanto, en los hogares de los estudiantes se están realizando esfuerzos para adquirir las herramientas tecnológicas necesarias que beneficien su proceso educativo (véase figura 5).

Por otro lado, un aspecto que sobresale de la infraestructura de la Escuela Superior de Comercio y Administración es el buen estado de los equipos en las aulas de cómputo y de los equipos para proyectar a una pantalla desde una laptop o una computadora. Estas herramientas apoyan los estudios de los alumnos tanto en el aula como en sus tiempos para acceder a computadoras y realizar trabajos y tareas.

La tabla 3 muestra que existe mayor infraestructura tecnológica institucional y que no se comparten computadoras. Las visitas a la sala de cómputo son programadas, una vez cada mes por grupo, debido al exceso de estudiantes en el Instituto Politécnico Nacional.

Tabla 3. *Infraestructura tecnológica institucional universitaria*

Acceso a internet en diferentes áreas de la universidad	90%
Sala de cómputo con acceso a internet	95%
Las computadoras se comparten	0%
Las aulas cuentan con dispositivos de proyección	95%
Las computadoras se encuentran en buen estado	95%

Fuente: elaboración propia.

Un aspecto esencial para la ejecución de trabajos, tareas e investigaciones a nivel superior es el acceso a internet. En este sentido, en contraste con los resultados de la encuesta del nivel secundario, se evidencia un incremento de 20 puntos porcentuales tanto en la calidad del servicio como en la velocidad de acceso (véase tabla 4).

Tabla 4. *Infraestructura tecnológica en el hogar*

Los alumnos cuentan con servicio de internet en casa	95%
La calidad del servicio de internet es buena	92%
La velocidad de internet permite trabajar sin problema	88%
Los estudiantes cuentan con dispositivos tecnológicos	95%
Los estudiantes realizan investigaciones haciendo uso de herramientas digitales	95%

Fuente: elaboración propia.

Conforme se avanza en los niveles educativos, el acceso a la información debe mejorar y en el hogar los encuestados afirman tener ese acceso porque la mayoría radica en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

En cuanto a las competencias en el uso de herramientas digitales, aunque la mayoría de los alumnos de nivel superior sostienen que saben buscar y analizar información científica en la web, eso no implica que consulten la información en los repositorios a los cuales está suscrita la institución (véase tabla 5).

Tabla 5. *Competencias en el uso de herramientas digitales*

Los estudiantes tienen conocimientos de computación	85%
Los estudiantes saben usar plataformas académicas	94%
Los estudiantes saben usar diversas aplicaciones para la resolución de actividades, investigaciones y exámenes	95%
Los estudiantes conocen el uso de los repositorios institucionales	36%
Los estudiantes saben buscar y analizar información científica en la web	89%
El estudiante tiene interés de su capacitación digital	97%

Fuente: elaboración propia.

En este sentido, los alumnos cuentan con conocimientos de computación que han adquirido durante su tránsito por los niveles educativos; a pesar de que son de ciencias sociales y no de ingenierías, buscan capacitarse en las herramientas digitales.

Tras el celular, el dispositivo más utilizado con mayor frecuencia entre los estudiantes de nivel superior es la laptop (véase tabla 6). En este dispositivo llevan a cabo diversas actividades, como la elaboración de trabajos, tareas e investigaciones. En específico, emplean la laptop para crear presentaciones y trabajos en formato de manuscritos, video o voz. En algunos casos, los trabajos pueden comenzar en el celular y luego continuar y finalizar en la laptop, donde se realizan las ediciones necesarias para presentar sus proyectos y sus investigaciones de manera más completa y refinada.

De acuerdo con la tabla 6 el teléfono inteligente es manejado de manera común por los estudiantes de los diferentes niveles y utilizado para acceder a las redes sociales y para resolver cuestiones académicas.

Tabla 6. *Dispositivos, usos y tiempos*

<i>Dispositivos</i>	<i>Uso</i>	<i>Tiempo (horas y porcentaje)</i>
Teléfono móvil	Entretenimiento, aplicaciones y redes sociales	Más de 8 horas al día (96%)
Lap top	Trabajos académicos, videos, investigaciones	Entre 5 y 8 horas (82%)
Computadora de escritorio	Tareas e investigaciones	Entre 3 y 6 horas (38%)
iPad	Dibujos, videos, aplicaciones	Entre 3 y 5 horas (59%)

Fuente: elaboración propia.

Un aspecto interesante de esta investigación es que evidenció la necesidad de la capacitación, tanto a estudiantes como a docentes, en herramientas digitales. Estas capacitaciones son vistas, desde los estudiantes, necesarias para ellos, para perfeccionar sus habilidades digitales, y para los docentes, para explotarlas en los salones de clase y para la realización y la entrega de tareas y trabajos (ver tabla 7).

Tabla 7. *Educación digital*

Mayor capacitación para el uso de herramientas digitales por estudiantes y docentes	98%
Clases dinámicas con actividades lúdicas para la toma de conciencia sobre el cuidado del ambiente y la mejor convivencia con los pares	90%
Mayores oportunidades a estudiantes foráneos para abatir el rezago y la brecha digital	97%
Investigaciones científicas dentro y fuera de la universidad, con impacto en la sustentabilidad	90%

Fuente: elaboración propia.

Se observa una preocupación predominante entre los estudiantes de nivel superior en relación con temáticas centradas tanto en aspectos ambientales como en cuestiones de sustentabilidad. Los alumnos perciben que estos dos campos emergentes son esenciales para su desarrollo académico y para abordar desafíos y cuestiones profesionales en el futuro.

Las tablas anteriores detallan los hallazgos de nuestro estudio, con la apariencia de que, al estar en un contexto urbano, se cree que todos los estudiantes tienen acceso a las herramientas digitales, por lo que podría pensarse que no hay brecha digital; sin embargo, no todos los estudiantes cuentan con posibilidades económicas para hacer frente a los requerimientos de cada nivel educativo por lo cual muchos de ellos se ven forzados a dejar los estudios.

Discusión

De acuerdo con lo hallado en esta investigación, la innovación, las inteligencias artificiales y la educación virtual llegaron para quedarse y por ello tanto los docentes como el estudiantado de todos los niveles educativos deben asistir a este conglomerado de procesos de aprendizajes para pertenecer a la sociedad del conocimiento, no sólo como consumidores sino también como productores de saberes globales.

Por lo anterior, conforme a las propuestas solicitadas, en orden de importancia, destacan: acceso a recursos digitales, información sobre el uso de tecnologías en educación, optimización de procesos institucionales, apoyo pedagógico, asesoramiento técnico y acceso a recursos tecnológicos institucionales (Ramírez-Montoya, 2020), para hacer frente tanto al rezago escolar como a la brecha digital existente en Latinoamérica.

Frente a estos desafíos se vuelve imperativo ajustar las políticas educativas a las nuevas circunstancias generadas por la pandemia. La colaboración entre docentes, instituciones educativas y políticas públicas desempeña un papel esencial en la búsqueda de soluciones efectivas. En este sentido, es fundamental diseñar estrategias que aborden la brecha digital, garantizando un acceso equitativo a recursos tecnológicos y ofreciendo capacitación en tecnología tanto para estudiantes como para profesores.

Asimismo, el fomento a la educación ambiental busca cultivar en cada estudiante la conciencia y los conocimientos necesarios para generar impacto desde lo local hasta lo global. Es esencial reconocer la carencia de figuras educativas con el perfil adecuado capaces de liderar proyectos sustentables en las instituciones educativas (Adame Morelos, 2020).

Por lo anterior, se detectaron diversos contrastes en los niveles educativos observados: tanto maestros comprometidos como maestros sin vocación y sin perfil para sustentar la enseñanza de jóvenes mexicanos que tienen muchas competencias, talentos y virtudes; siendo el papel docente el impulsor para el desarrollo y el bienestar de los que más lo necesitan, pues fomenta la inclusión, la equidad, los derechos, la sustentabilidad y los aprendizajes imprescindibles para todas las personas.

Por ello, gobiernos y actores implicados en el desarrollo deben unir fuerzas para superar las barreras tecnológicas mediante inversiones en infraestructura digital y reducción de costos de conectividad. Para cerrar la brecha digital es fundamental poner un énfasis especial en la alfabetización digital de las comunidades marginadas. No obstante, es necesario reconocer que una dependencia excesiva de la tecnología no asegura un aprendizaje efectivo para todos los estudiantes, especialmente para aquellos más desfavorecidos. Será vital garantizar que el acceso mejorado a internet, el apoyo parental y la disponibilidad de materiales educativos contribuyan a maximizar los beneficios de cualquier solución digital (ONU, 2020).

En suma, lo hallado por este estudio indica que en las zonas urbanas se está ampliando la conectividad, lo que permite mayor comunicación y mejor uso de las herramientas digitales; sin embargo, eso no significa que los usos sean los correctos, debido a que en el nivel básico el mayor porcentaje de los estudiantes sí presenta rezago y brecha digital pospandémicos, por las diversas circunstancias ya mencionadas, sumado a la apatía por pasar de ser estudiantes pasivos a ser estudiantes activos de sus propios conocimientos.

Por otro lado, en contraste con los alumnos de nivel superior, jóvenes con mayor madurez y compromiso por sus estudios buscaron las formas para no rezagarse y actualizarse en el uso de las herramientas digitales, al igual que los docentes, presentes mediante la educación virtual que ayudó a minimizar los efectos de la brecha digital, reconociendo que contaban con mayor conectividad y que la infraestructura tecnológica institucional era de mayor calidad.

Conclusiones

Las conclusiones extraídas de esta investigación se centran en las fortalezas y debilidades del sistema educativo mexicano en relación con la mejora de la infraestructura tecnológica en las escuelas de diversos niveles y, por ende, en la calidad educativa. Por esta razón, se destaca la importancia de invertir en el acceso a internet y en otras mejoras, evitando así la brecha digital.

Se concluye que los medios tecnológicos son una parte esencial de la vida cotidiana de los estudiantes. La responsabilidad de proporcionar una

educación que guíe un uso pedagógico adecuado de las herramientas digitales recae en los padres y en el cuerpo docente, para poner límites en el uso de las redes sociales que distraen de manera sorprendente a los estudiantes pues muchos de ellos dejan a un lado sus estudios, incrementando la estadística de rezago escolar.

A pesar de que se da por sentado que existe capacitación en el uso de herramientas digitales, la realidad dista considerablemente de las promesas políticas de las autoridades que tienen el presupuesto para la inversión en la infraestructura de las escuelas. La problemática se agrava en los entornos desfavorecidos; por ello, las fortalezas son notables en las zonas urbanas. Sin embargo, contrastan fuertemente con las áreas rurales. En estas últimas, a menudo se carece de maestros, material didáctico e infraestructura tecnológica, tanto institucional como en el hogar.

En consecuencia, el rezago académico y la brecha digital están presentes en el sistema educativo mexicano. Aunque existen esfuerzos comprometidos, queda mucho camino por recorrer. Para abordar estos desafíos y reducir las inequidades educativas se deben implementar medidas concretas, como garantizar acceso equitativo a la tecnología y la conectividad, fortalecer la formación docente en tecnología y metodologías para el aprendizaje en línea y ofrecer apoyo a estudiantes en riesgo de deserción y rezago escolar.

En un contexto más amplio, la crisis generada por la pandemia de covid-19 ha tenido un impacto sin precedentes en la educación, retrasando objetivos internacionales y afectando de manera desproporcionada a los más vulnerables. Aunque la comunidad educativa se ha mostrado resiliente, persiste el riesgo de un ciclo negativo de exclusión y aprendizajes imprescindibles no alcanzados.

No obstante, se vislumbra una espiral positiva de cambio hacia la equidad educativa y el aprovechamiento del potencial humano. Para lograrlo, es esencial mantenerse fieles a los principios y llevar a cabo reformas estructurales. Especialmente en el caso de México, la conciencia de erradicar paradigmas arraigados y la inversión en educación son fundamentales para el mejoramiento del sistema educativo y, en última instancia, de la sociedad mexicana. Por ello, tanto los gobiernos como la comunidad internacional tienen la responsabilidad de asegurar la realización de estos

principios y reformas. En la sociedad mexicana queda claro que el rezago educativo y la brecha digital persisten en el sistema educativo, impulsados por desigualdades socioeconómicas arraigadas. A pesar de los esfuerzos de los docentes por adaptarse a cambios globales y brindar una educación de calidad, desafíos como la falta de capacitación y la resistencia al cambio tecnológico persisten.

En el mismo sentido, se observó la presencia de docentes mayores que luchan contra las herramientas digitales y se cuadran a clases presenciales, lo que puede resultar en clases monótonas para los estudiantes. Sin embargo, el temor a la jubilación por razones económicas, o la ausencia de planes de retiro de calidad, evitan que los docentes mayores no cedan la entrada a profesionales jóvenes, y tampoco existen planes de sustitución, acompañamiento, enseñanza y creación de talento.

De esta manera, los estudiantes de hoy experimentan cambios significativos gracias a la tecnología, permitiéndoles acceder a información rápidamente. Los docentes también adoptan herramientas digitales para generar interés y presentar información científica, fomentando la búsqueda y el análisis de información para el conocimiento con impacto social. La falta de hábitos de estudio y el abuso de redes sociales pueden distraer a los estudiantes, especialmente en la educación básica, donde radica la mayor problemática en el rezago académico y la brecha digital.

En consecuencia, tanto autoridades educativas como docentes y padres de familia deben asumir la corresponsabilidad de mejorar la educación, independientemente del contexto socioeconómico en el que se viva, permitiendo a los estudiantes la mejora de su calidad de vida y bienestar con impacto en la comunidad.

Agradecimientos

A todos los participantes que voluntariamente accedieron y mostraron su información para su análisis.

Referencias

- Adame Morelos, C. L. (2020). La educación ambiental y las competencias en estudiantes de educación media superior en Ciudad Juárez: una propuesta de política pública. En A. Cano Aguilar y G. E. Chávez Ortiz (coords.), *Memoria de resúmenes del IV Coloquio Internacional de las Culturas del Desierto "Ambiente, bienestar y desarrollo en los desiertos"* (pp. 46-47). CONACYT/Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. <http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/15936/MEMORIA-de-RESUMENES-COLOQUIO2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Aguillar Edwards, A. (2014). Del discurso a los hechos: el Estado mexicano y los pueblos indígenas de México. *Configurações*, 14, pp. 39-66. <https://doi.org/10.4000/configuracoes.2256>.
- Alejo López, S. J., y Estrada Ruiz, M. J. (2020). Los contextos y las desigualdades sociales en el abandono escolar en los telebachilleratos comunitarios de Guanajuato. En A. Cano Aguilar y G. E. Chávez Ortiz (coords.), *Memoria de resúmenes del IV Coloquio Internacional de las Culturas del Desierto "Ambiente, bienestar y desarrollo en los desiertos"* (pp. 35-36). CONACYT/Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. <http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/15936/MEMORIA-de-RESUMENES-COLOQUIO2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Amauri Gallegos de Dios, O. (2022). Ausentismo, deserción escolar y rezago educativo en secundarias públicas en México durante la pandemia del covid-19. *Sincronía: Revista de Filosofía, Letras y Humanidades*, 26(81), pp. 725-745. http://sincronia.cucsh.udg.mx/pdf/81/725_745_2022a.pdf.
- Carro Olvera, A., y Lima Gutiérrez, J. A. (2022). Pandemia, rezago y abandono escolar: Sus factores asociados. *Revista Andina de Educación*, 5(2), 005210. <https://hdl.handle.net/10644/8935>.
- Esparza Meza, E. M., Campillo Labrandero, M., Stincer Gómez, D., Sánchez Xicoténcatl, C. O., Téllez Rojo, A. L., y Aveleyra Ojeda, E. (2022). Experiencias de jóvenes mexicanos frente a la pandemia de covid-19 y el confinamiento. *Psicumex*, 13, pp. 1-27. <https://doi.org/10.36793/psicumex.v13i1.526>.
- IMCO (Instituto Mexicano para la Competitividad) (2021, 2 de junio). *El rezago educativo pone en riesgo a una generación de estudiantes*. IMCO. <https://imco.org.mx/el-rezago-educativo-pone-en-riesgo-a-una-generacion-de-estudiantes>.
- Internet Live Stats (2016, 7 de julio). *Internet Users by Country (2016)*. ILS. <https://www.internetlivestats.com/internet-users-by-country/>.
- Jaramillo-Baquerizo, C. (2021). Analizando la transición de una educación presencial a una educación remota: una experiencia en la educación superior durante la pandemia de la covid-19. *Revista Cátedra*, 4(3), pp. 93-109.
- Martínez Domínguez, M. (2020). La desigualdad digital en México: un análisis de las razones para el no acceso y el no uso de internet. *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad*, 10(19), e519. <https://doi.org/10.32870/pk.a10n19.519>.
- Orrego Tapia, V. (2022). Educación remota y salud mental docente en tiempos de co-

- vid-19. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 21(45), pp. 12-29. <https://doi.org/10.21703/0718-5162.v21.n45.2022.001>.
- Ramírez-Montoya, M.-S. (2020). Transformación digital e innovación educativa en Latinoamérica en el marco del covid-19. *Campus Virtuales*, 9(2), pp. 123-139. <http://uajournals.com/campusvirtuales/journal/17/10.pdf>.
- Sánchez Carlos, Ó., Bautista Flores, E., y Loreto Quintana, N. (2020). Perfil educativo de estudiantes de primer ingreso y brecha digital en tiempos de la educación a distancia. En A. Cano Aguilar y G. E. Chávez Ortiz (coords.), *Memoria de resúmenes del IV Coloquio Internacional de las Culturas del Desierto "Ambiente, bienestar y desarrollo en los desiertos"* (pp. 77-78). CONACYT/Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. <http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/15936/MEMORIA-de-RESUMENES-COLOQUIO2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Schmelkes, S. (2020). La educación superior ante la pandemia de la covid-19: el caso de México. *Universidades*, 71(86), pp. 73-87. <https://doi.org/10.36888/udual.universidades.2020.86.407>.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2020, agosto). *Informe de políticas: la educación durante la covid-19 y después de ella*. ONU. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2020/09/policy_brief_-_education_during_covid-19_and_beyond_spanish.pdf.
- UNDP (United Nations Development Programme) (2020). *Covid-19 and Human Development: Assessing the Crisis, Envisioning the Recovery*. UNDP. <http://hdr.undp.org/en/hdp-covid>.
- Zambrano Bermeo, R. N., Londoño Chamorro, K. A., Bolaños Manchabajoy, W., Aroce-mena Acosta, K., y Estrada González, C. (2023). Estrés académico en estudiantes universitarios en situación de crisis y emergencias. *Enfermería Investiga*, 8(3), pp. 77-85. <https://doi.org/10.31243/ei.uta.v8i3.2123.2023>.

X. Incidencia del turismo regenerativo especializado en el medio ambiente y en la mitigación de peligros naturales

FERNANDO MOHEDANO-LÓPEZ*

ARACELI LOYOLA-ESPINOSA**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.197.10>

Resumen

Las actuales y futuras formas de hacer turismo después y durante las pandemias han obligado a repensar e innovar estrategias que contribuyan en acelerar la mitigación de peligros en el medio natural. Esta estrategia turística, llamada Turismo Regenerativo Especializado, fundada en el Modelo de Acciones de Socioecogestión, es la que ha permitido obtener resultados como la recuperación y mitigación de la proliferación del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México, y la regeneración asistida del cangrejo Mazunte (*Cardisoma crassum*) en el pueblo mágico de Mazunte de la costa de Oaxaca, México, distintivo y emblema del lugar. En ambos casos, la participación de la comunidad local ha sido fundamental para el éxito de los proyectos acompañados por turistas en labores regenerativas. En Laguna de Tecocomulco el turista contribuyó a recuperar y controlar el lirio acuático distribuido en una superficie de 17.69 km², de los cuales 60% de esta superficie estaba infestada de la flora citada y se redujo 40%, que corresponde a los primeros 15 m perimetrales de la laguna, a través de senderismo, colocando insectos en el lirio y contribuyendo económicamente a la comunidad local. En Mazunte, el turista

* Doctor en Conservación y Recuperación del Medio Natural, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la Escuela Superior de Turismo (EST) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0894-5642> ; Autor de correspondencia: fmohedanol@ipn.mx

** Licenciada en Turismo. Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9724-4641>

participó con la comunidad local ubicando las madrigueras de los cangrejos, atrapando organismos y participando en el taller de reproducción asistida de esos animales, en un polígono determinado, con la supervisión de biólogos y a través de un muestreo indirecto aleatorio. Se puede concluir que las acciones del Turismo Regenerativo Especializado están ayudando a mitigar eventos que la naturaleza genera, como huracanes, tornados, tsunamis, etc., integrando a la comunidad a los turistas que la visitan, como parte de una sociedad altamente motivada por contribuir a las mejoras del medio natural.

Palabras clave: *estrategias de remediación natural, estrategia turística, modelo de acciones de socioecogestión, mitigación de aceleración de peligros al medio natural, turismo alternativo.*

Introducción

El turismo alternativo en sus diversas formas —ecoturismo, turismo rural, turismo comunitario, turismo de naturaleza, turismo regenerativo, entre otros— se ha incrementado a partir de la pandemia covid-19 debido a las restricciones de viaje y a las medidas de salud y seguridad aplicadas en todo el mundo.

Lo que más se ha incrementado de 2020 a la fecha es la conciencia ambiental y la búsqueda de experiencias auténticas de los visitantes que han dado mayor notoriedad al turismo sustentable como opción factible para la recuperación del medio natural, ya que se enfoca en prácticas responsables y de conservación, aunado a prácticas de regeneración del entorno más allá de sólo conservar y proteger el medio natural y sus recursos que impulsan el desarrollo económico y social local. Las actividades promovidas por este tipo de turismo permiten respetar la biodiversidad y la cultura local, preservando los ecosistemas y promoviendo la conciencia social entre los visitantes. Ésta una herramienta para el equilibrio entre el crecimiento económico-social y la mitigación de los impactos naturales, así como para la protección del medio natural en su vertiente regenerativa.

Por lo tanto las acciones de turismo regenerativo y las medidas de remediación natural permitirán dar pasos iniciales en apoyo a la sensibiliza-

ción de las comunidades, de la sociedad y del entorno ambiental que sirvan para coexistir en armonía, obteniendo resultados tendientes a conseguir esa armonía, como en los dos casos que se mencionan en este artículo, en los que se aplica el Modelo de Acciones de Socioecogestión Turística (Mohedano, 2020), así como en el caso de la laguna de Tecocomulco, Tepeapulco, Hidalgo, México, en la recuperación y la conservación del paisaje de humedales continentales naturales, el cual representa 9% de la riqueza de los ecosistemas a nivel mundial (Kemper, 2018). Por su parte, México posee 13.3% de los humedales (Berlanga y Ruiz, 2008), recuperados de una manera natural de la invasión del lirio acuático (*Eichornia crassipes*) y el tule (*Typha domingensis Pers*).

Por otro lado está el caso de El Mazunte, Santa María Tonameca, Oaxaca, que ejemplifica la recuperación del cangrejo Mazunte (*Cardisoma crasum*) a través de la reproducción asistida en diversos talleres para los turistas, con base en el Modelo de Acciones de Socioecogestión Turística también aplicado en la recuperación del paisaje de Tecocomulco y de la fauna en proceso de extinción. Este turismo alternativo también tiene implicaciones en la recuperación de la cultura del pueblo originario, como es el caso de los usos y costumbres de los mayo-yoremes de Guasave, Sinaloa, donde las costumbres están en peligro de extinción ante las sociedades futuras locales, nacionales e internacionales.

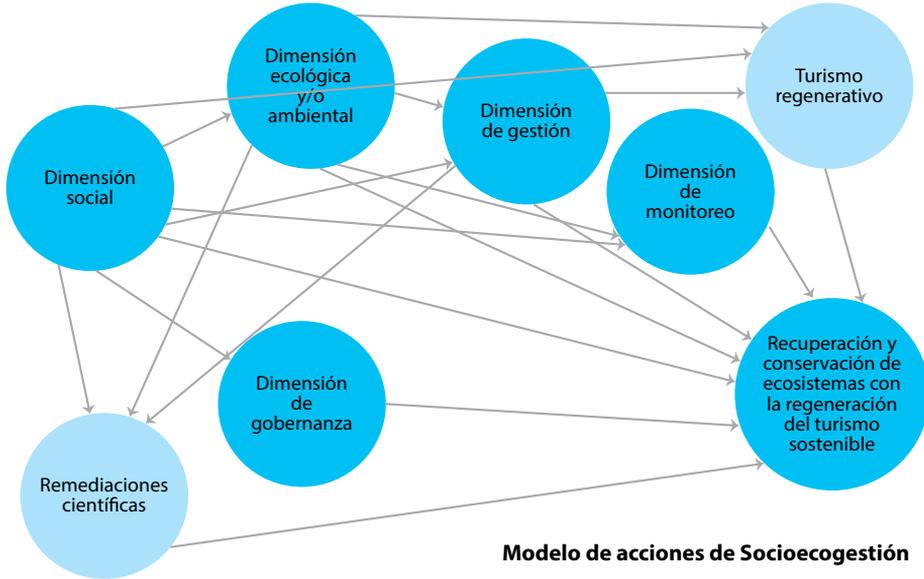
Con estos ejemplos de proyectos de investigación realizados en el periodo 2018-2023 podemos confirmar que el Turismo Regenerativo Especializado y otras medidas de remediación natural pueden ser herramientas de incidencia en el medio ambiente que permitan mitigar los impactos de los fenómenos naturales, como el paso del huracán *Ágata* en Mazunte, Oaxaca, y el desbordamiento de la presa de Tecocomulco.

Materiales y métodos

La metodología utilizada en los dos proyectos citados en este artículo permitió reducir los impactos de los fenómenos naturales usando el turismo regenerativo mediante el Modelo de Acciones de Socioecogestión Turística (Mohedano, 2020). Este modelo tiene como base los modelos de conserva-

ción y recuperación del medio natural, complementado con el turismo regenerativo y otros medios de remediación científica natural. La estructura del modelo se muestra en la figura 1.

Figura 1. Estructura del Modelo de Acciones de Socioecogestión Turística



Fuente: Mohedano (2020).

El primer caso de aplicación del modelo fue en la laguna de Tecocomulco, que es parte de una subcuenca endorréica, cuyos orígenes son tectónicos volcánicos. Ubicada al noreste de la Gran Cuenca del Valle de México, es considerada el último reducto de los antiguos lagos de Anáhuac (Huizar *et al.*, 2005). La laguna se encuentra a una altitud promedio de 2 154 metros sobre el nivel del mar, entre las coordenadas 19° 53' 20"-19° 50' 08" N y 98° 21' 54"-98° 25' 44" O. La laguna está ubicada en los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala de la República mexicana (Huizar *et al.*, 2005).

El Modelo de Acciones de Socioecogestión Turística (Mohedano, 2020) se aplicó en la laguna de Tecocomulco de la siguiente forma:

1. Confirmar la problemática a través del consenso con la comunidad de Tecocomulco, Hidalgo, y de sensibilización de la población.

2. Investigar métodos de remediación científica para el control natural del lirio acuático.
3. Determinar el crecimiento y la extensión del lirio a través de mediciones de temperatura del agua, cantidad de nutrientes, cantidad reproducida de lirio y dispersión del lirio y definir los lugares de control del mismo.
4. Determinar el perfil del turista y/o visitante que acude a la laguna.
5. Seleccionar actividades de turismo regenerativo posibles de operar en la laguna con el consentimiento de la comunidad local y de acuerdo con el perfil del turista y/o visitante, de acuerdo con las actividades que gusta realizar, como la práctica de turismo alternativo.
6. Realizar prueba piloto de las actividades de turismo regenerativo, las cuales se llevan a cabo en un área reducida de la laguna, marcada con palos que delimitan el área con el objetivo de comprobar que la propuesta dará los resultados esperados.
7. Planear, organizar y coordinar las actividades de turismo regenerativo, para el logro de beneficios sociales, ecológicos y de gestión, resultantes de la prueba piloto.
8. Implementar las actividades de turismo regenerativo en conjunto con la comunidad receptora y responsable de esas actividades para su ejecución y puesta en marcha.
9. Desarrollar estrategias de difusión de actividades regenerativas hacia el mercado específico determinado por el estudio del perfil del turista y no para el mercado masivo.
10. Realizar el seguimiento y el refrescamiento estratégico de las actividades regenerativas practicadas por la comunidad.
11. Evaluar la incidencia del turismo regenerativo especializado en el medio ambiente y en la mitigación de fenómenos naturales de la laguna.

El segundo caso de aplicación del Modelo de Acciones de Socioecogestión Turística que tiene incidencia en el medio natural mitigando fenómenos naturales, se realizó en El Mazunte, Santa María Tonameca.

El Modelo de Acciones de Socioecogestión Turística (Mohedano, 2020) se aplicó en El Mazunte, Santa María Tonameca, Oaxaca de la siguiente forma:

1. Confirmar la problemática a través del consenso con la comunidad de El Mazunte, Santa María Tonameca, Oaxaca, y la sensibilización de la población.
2. Investigar métodos de remediación científica para la reproducción asistida del cangrejo azul llamado Mazunte.
3. Medir la cantidad de cangrejo azul llamado Mazunte representativo y emblema del lugar, a través del monitoreo y la caracterización del cangrejo en sus madrigueras y en los lugares de control de estudio.
4. Monitorear el comportamiento del cangrejo durante diversas etapas, como en secas, en lluvias (reproducción), en huracanes, después del huracán, otra vez en secas y nuevamente lluvias sin huracán.
5. Determinar el perfil del turista y/o visitante que acude a las costas de Mazunte.
6. Seleccionar actividades de turismo regenerativo posibles de operar en Mazunte con el consentimiento de la comunidad local y de acuerdo con el perfil del turista y/ visitante, de acuerdo con las actividades que gusta realizar, como la práctica de turismo alternativo.
7. Realizar prueba piloto de las actividades de turismo regenerativo, las cuales se llevan a cabo en un área reducida cercana a la playa y el mangle, marcada con palos que delimitan el área con el objetivo de comprobar que la propuesta dará los resultados esperados.
8. Planear, organizar y coordinar las actividades de turismo regenerativo, para el logro de beneficios sociales, ecológicos y de gestión, resultantes de la prueba piloto.
9. Implementar las actividades de turismo regenerativo en conjunto con la comunidad receptora y responsable de esas actividades para su ejecución y puesta en marcha.
10. Desarrollar estrategias de difusión de actividades regenerativas hacia el mercado específico determinado por el estudio del perfil del turista y no para el mercado masivo.

11. Realizar el seguimiento y refrescamiento estratégico de las actividades regenerativas practicadas por la comunidad.
12. Evaluar la incidencia del turismo regenerativo especializado en el medio ambiente y en la mitigación de fenómenos naturales en El Mazunte.

Resultados

Análisis de datos

Caso 1. Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México

Se confirmó de manera unánime por los ejidatarios de la cuenca de Tecocomulco la problemática a través del consenso con la comunidad de Tecocomulco, Hidalgo (figura 2) y la sensibilización de la población (figura 3).

El siguiente paso fue la investigación para el control del lirio acuático a través de medidas de remediación natural y científica, siendo los insectos neoquetinos la respuesta y utilizando la investigación realizada por el Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua.

Figura 2. Reunión con ejidatarios de la cuenca de Tecocomulco para presentar el proyecto de recuperación de la laguna de Tecocomulco



Figura 3. Reunión con más de 300 alumnos y profesores de Tecocomulco para presentar el proyecto de recuperación de la laguna de Tecocomulco



Sobre la remediación del lirio acuático (*Eichornia crassipes*), véase la figura 4, donde se muestran los insectos neoquetinos que participaron en la recuperación del paisaje del humedal, controlando su reproducción y su expansión.

Figura 4. *Neochetina eichhorniae* (b) y *Neochetina bruchi* (c)



Fuente: Aguilar *et al.* (2016).

Los neoquetinos pudieron controlar la contaminación paisajística de la laguna existente. De un total contaminado de 70% se controló 40% en la laguna de Tecocomulco (véanse figuras 5 y 6). La laguna tiene una superficie de 17.69 km², en promedio, el cual puede alcanzar hasta 27 km² de extensión de agua superficial, dependiendo de la precipitación estacional y del nivel de agua que decrece por la evaporación y a infiltración (Conagua, 2015).

Figura 5. Contaminación de la laguna de Tecocomulco con lirio acuático

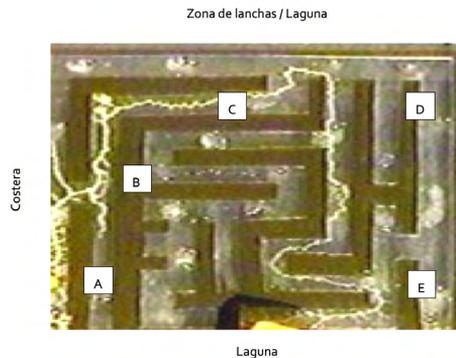


Figura 6. Regeneración de laguna de Tecocomulco sin el 40% de lirio acuático



La medición del crecimiento y la extensión del lirio a través de información de temperatura del agua, cantidad de nutrientes, cantidad reproducida de lirio y dispersión del lirio, definiendo los lugares de control del mismo, puede apreciarse en la figura 7.

Figura 7. Laguna de Tecocomulco: rejilla de la producción real del lirio



Fuente: Mohedano (2020).

La tabla 1 concentra los resultados que muestran el comportamiento de la trayectoria de la reproducción del lirio, de manera visual y cuantificable, en la zona muestra. El patrón obtenido demuestra que mientras más cercano se encuentre el lirio a la orilla de la laguna más nutrientes de materiales pesados tendrá. La reproducción y la dispersión del lirio se incrementa con respecto a otras áreas de estudio.

Tabla 1. Recolección de mediciones

Ubicación	Fecha	Temperatura	Cantidad de nutrientes (metales pesados) (porción de 10 cm ²)	Cantidad reproducida de lirio	Dispersión del lirio (cm)
A	22-feb.-20	14 °C	40%	0 hojas	0 cm
	29-feb.-20	15 °C	40%	1 hoja	1.5 cm
	08-mar.-20	17 °C	42%	1.5 hoja	3 cm
	15-mar.-20	18 °C	42%	2 hojas	4.5 cm
B	22-feb.-20	14 °C	40%	0 hojas	0 cm
	29-feb.-20	15 °C	40%	1 hoja	1.5 cm
	08-mar.-20	17 °C	42%	1 hoja	3 cm
	15-mar.-20	18 °C	42%	1.5 hojas	4.0 cm
C	22-feb.-20	12 °C	30%	0 hojas	0 cm
	29-feb.-20	14 °C	20%	0.5 hojas	0.5 cm
	08-mar.-20	14 °C	30%	0 hojas	0 cm
	15-mar.-20	12 °C	20%	0 hojas	0 cm

<i>Ubicación</i>	<i>Fecha</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Cantidad de nutrientes (metales pesados) (porción de 10 cm²)</i>	<i>Cantidad reproducida de lirio</i>	<i>Dispersión del lirio (cm)</i>
<i>D</i>	22-feb.-20	12 °C	30%	0 hojas	0 cm
	29-feb.-20	14 °C	20%	0.5 hojas	0.5 cm
	08-mar.-20	14 °C	30%	1.0 hojas	1.5 cm
	15-mar.-20	12 °C	20%	0.5 hojas	2.0 cm
<i>E</i>	22-feb.-20	14 °C	30%	0 hojas	0 cm
	29-feb.-20	15 °C	20%	0.5 hojas	0.5 cm
	08-mar.-20	17 °C	30%	1.0 hojas	1.5 cm
	15-mar.-20	18 °C	20%	0.5 hojas	2.0 cm

Fuente: Mohedano (2020).

Con el análisis de la información vertida en la tabla 1 podemos observar el comportamiento del crecimiento del lirio acuático para detectar los lugares que requieren control.

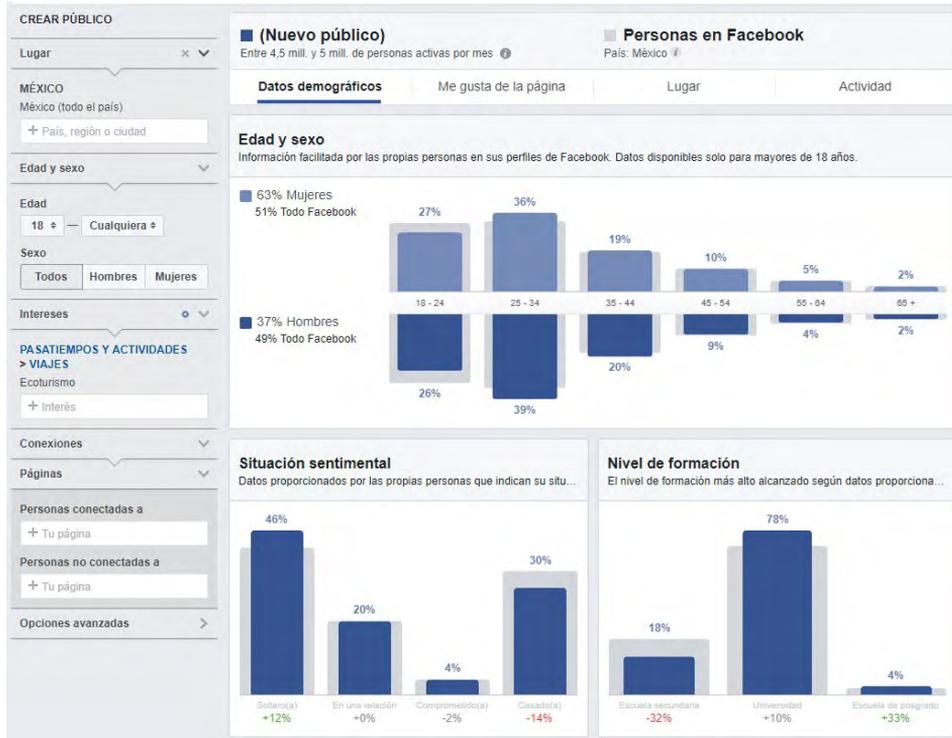
La demanda potencial de la laguna de Tecocomulco (véase figura 8) en 2018 se visualizó en Facebook, donde se llegó a la conclusión de que hay de 4.5 a 5 millones de visitantes interesados en realizar viajes a lagos. La información se filtró a través de los criterios mostrados a continuación:

- Hombres y mujeres de 18 a 44 años (población económicamente activa).
- Datos demográficos: solteros y casados, con estudios universitarios y de posgrado (en proceso o concluidos).
- Trabajan en el sector de educación, servicios sociales, cuidado personal y negocios y finanzas.
- Acceden a redes sociales a través de un dispositivo Android, pero quienes poseen un iPhone tienen más probabilidad de interesarse en un viaje a lagos.
- Se ubican en las principales ciudades del país: Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara.

De los casi cinco millones de personas activas en Facebook en 2018 alrededor de la Ciudad de México, 60% son mujeres, principalmente de 18 a 44 años de edad. En cuanto al 40% restante, son hombres que se interesan en viajar a lagos en el mismo rango de edad. Estas personas se reportan en

la siguiente situación sentimental: 42% solteros y 34% casados, y son universitarios o estudiantes de posgrado.

Figura 8. Público de Facebook interesado en actividades alternativas tipo ecoturismo



El 14% trabajan en el sector de la educación o en bibliotecas, así como en servicios sociales. Seguidos por 11% que trabaja en cuidado personal y servicios del hogar, y 9% en el sector de negocios y finanzas.

El 15% se conecta por medio de un iPhone/iPod, y el 82%, mediante un dispositivo Android en el periodo de un mes. Pero la probabilidad de que una persona busque viajes a lagos es de 96% de los que poseen un iPhone y de 2% de quienes tienen Android.

La localización de este mercado se ubica comúnmente en las grandes ciudades del país (Guadalajara, Monterrey y Ciudad de México), aunque hay un interés en viajar a lagos con grandes probabilidades de habitantes de

Culiacán, Aguascalientes, Chihuahua y Ciudad Juárez, con 78, 67, 50 y 29%, respectivamente.

Los porcentajes muestran un gran interés por el ecoturismo y su proyección y motivación por el ecoturismo se han incrementado de 90% aproximadamente (figura 8).

En 2023 se realizó el análisis similar al de 2018, pero es importante decir que los criterios de la plataforma de Facebook no sólo giran en torno del consumo exclusivo de contenido, sino que ya identifican las compras reales porque también las compañías de teléfonos actualizaron sus términos y condiciones para permitir a estas aplicaciones rastrear el consumo de los usuarios. Por esta razón los resultados de la figura 8 son aún más cercanos a la realidad, pues se utilizó el filtro de usuarios activos interesados en lagos o lagunas que es cercano al mercado objetivo y que se mantiene muy sensible a las actividades ecoturísticas.

Figura 9. Número de usuarios activos en las principales ciudades de México (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey) interesados en lagos (masa de agua)



Caso 2. El cangrejo Mazunte, *Cardisoma crassum*, en la localidad de El Mazunte, Santa María Tonameca, Oaxaca

Se confirmó, de manera consensada por los distintos sectores de la comunidad de Mazunte, la problemática de la reducción anual del cangrejo (figuras 10 y 11). Se realizaron cuatro reuniones con los sectores de la sociedad de Mazunte: la primera con los líderes de cada sector de manera individual, esto es, del sector juvenil, del sector adulto, del sector de los mayores de 60 años y de la autoridad local. Producto de estas reuniones se convocó a reuniones informativas sobre el tema de turismo regenerativo y detección de necesidades de parte de cada sector. Estas reuniones se realizaron en la Casa del Pueblo de Mazunte (véase figura 10). Las necesidades de la localidad se hicieron llegar a las autoridades locales con el visto bueno del presidente municipal (véase figura 11), quien envió a los representantes locales de Turismo, Educación, Economía, Protección Civil, Ecología y Medio Ambiente, etcétera, a atender a la población.

Se formaron comisiones con los miembros de la comunidad (autopropuestos) para seleccionar el área en la que se realizó la investigación y se llegó a la conclusión de trabajar en el área representada por dos fragmentos de bosque de mangle localizados en la extensión de la línea costera de esta localidad donde se realizaron los siguientes monitoreos.

Figura 10. Reunión en la comunidad de El Mazunte



Figura 11. Reunión con autoridades de El Mazunte



Monitoreo poblacional del cangrejo Mazunte *Cardisoma crassum* en la localidad de Mazunte, Santa María Tonameca, Oaxaca

Después de a un recorrido de reconocimiento visual de la comunidad autopropuesta por ambos fragmentos de manglar cercano a la costa para realizar el proyecto, se definió un área a la cual se le denominó sitio de muestreo “Manglar-Barrita (M-B)”, ubicado en las inmediaciones de las calles La Barrita, Palma Real y Rinconcito; asimismo, el fragmento de manglar localizado en las inmediaciones de las calles, y otra área ubicada en La Barrita, El Carey y la carretera federal 175, denominado sitio de muestreo “Manglar-Arroyo (M-A)”.

Asimismo, se llevó a cabo un análisis geoespacial de los sitios de muestreo poblacional del cangrejo Mazunte *Cardisoma crassum*, temporada 2023, mediante la aplicación de fotogrametría y su posterior procesamiento y análisis con sistemas de información geográfica (SIG).

Fotogrametría: generación de ortomosaicos

Se realizó mediante la toma de fotografía aérea por un dron y el procesamiento posterior de las imágenes con el *software* Agisoft Metashape©. El proceso de la toma de fotografía aérea involucró de forma previa el registro y la ubicación de geoposición satelital, o sistema de posicionamiento global

(GPS), de puntos de control en el terreno, para el procesamiento del ortomosaico, así como para el posprocesamiento de este producto con la implementación del SIG.

Las tomas fotográficas aéreas se realizaron a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar, en condiciones óptimas de iluminación y viento, procurando un traslape de 75% entre cada fotografía, así como considerando una cobertura completa y amplia de los sitios de muestreo. La configuración de la interfaz Metashape© fue siguiendo las recomendaciones del flujo de trabajo general del manual de usuario Agisoft Metashape 2.0 (2023), de lo cual resultaron los productos en formato de ortomosaicos de la figura 12.

Figura 12. a) Ortomosaico del sitio Manglar-Arroyo (M-A) y b) ortomosaico del sitio Manglar-Barrita (M-B)



Procesamiento y análisis espacial de los datos con SIG

Una vez obtenidos los ortomosaicos se llevó a cabo un posprocesamiento y análisis espacial mediante la interfaz del *software* ArcGIS ArcMap 10.8©, donde se delimitó el cuadrante general del sitio M-B (figura 13a) y posteriormente se inspeccionó y se delimitó poligonalmente la cobertura de mangle de este sitio de muestreo (figura 12a), así como del sitio M-A (figura 13b).

Posteriormente se realizó el cálculo de atributos geométricos de los polígonos de cobertura de manglar de los sitios de muestreo, donde se determinó que el sitio M-B está compuesto por un área de 4 024 m² y una longitud perimetral de 293 m; en tanto que para el sitio M-A se determinó un área de 11 888 m² y un perímetro de 709 m.

Figura 13. Sitio de muestreo Manglar-Barrita (M-B): a) delimitación de cuadrante general (línea roja y puntos de control en amarillo) y b) delimitación de polígono de cobertura de mangle



Metodología de muestreo indirecto aleatorio

El censo poblacional indirecto del cangrejo Mazunte se llevó a cabo considerando como unidad de análisis las madrigueras de cangrejos y sus rasgos específicos, tomando como espacial un cuadrante de 25 m².

Fase de campo

Con la localización geográfica de los puntos de muestreo se realizó el registro del número de madrigueras presentes en cada cuadrante (25 m²), así como el registro de los rasgos específicos, donde se considerarán como “activas” en el caso de presentar las siguientes características: presencia de excremento, huella de patas, lodo seco y/o fresco, tapada (lodo fresco), así como la presencia del cangrejo en la madriguera. En tanto que las madri-

gueras que no presenten ninguna de estas características y con aspecto de “abandono” se considerarán “inactiva” (Uscocovich, 2015). Se realizó un registro fotográfico del estado general de las madrigueras y de las características visuales presentes.

Una vez obtenido el universo de las unidades de muestreo, se realizó el cálculo del tamaño de la muestra finita (Spiegel y Stephens, 2009) mediante la ecuación:

$$n = N * Z\alpha^2 * p * qe^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q$$

donde:

n = Tamaño de muestra buscado

N = Tamaño del universo muestral (M-B = 135; M-A = 393)

Z = Valor correspondiente a la distribución de Gauss (nivel de confianza) ($Z\alpha = 0.10 = 1.645$ [90%])

e = Error de estimación máximo aceptado (10% = 0.10)

p = Probabilidad de éxito (50% = 0.5)

$q = 1 - p$ = Probabilidad de fracaso (0.5)

De manera que para el sitio de muestreo M-B se obtuvo un tamaño de muestra de 45 cuadrantes, en tanto que para el sitio M-A el tamaño de muestra resultante fue de 57 cuadrantes. Posteriormente se seleccionó el número de unidades de muestreo de cada sitio de forma aleatoria simple mediante el complemento PopTools de Microsoft Excel®, el cual se importó hacia ArcGIS 10.8© para la ubicación espacial y geográfica de los cuadrantes de muestreo en ambos sitios (figura 14).

Además, se llevó a cabo el muestreo de seis cuadrantes en el sitio M-B (figura 12b), tomando en cuenta la ubicación geográfica de los puntos de muestreo generados de forma aleatoria en el diseño de muestreo, así como en función de la accesibilidad de éstos, ya que los árboles de mangle presentan una postura inclinada en este sitio (figura 15); incluso en algunas zonas los árboles se encuentran casi en posición perpendicular al suelo, dificultando el acceso a ciertas áreas y puntos; lo anterior puede deberse al impacto de eventos hidrometeorológicos, que el mangle ha amortiguado, resistido y recuperado, generando brotes nuevos en dirección vertical.

Figura 14. *Distribución de puntos de muestreo aleatorio (puntos naranjas) poblacional de C. crassum en el sitio Manglar-Barrita (M-B)*



Figura 15. *Vista a nivel del suelo del sitio de muestreo Manglar-Barrita (M-B) (árboles de mangle con postura inclinada)*



Los datos condensados de los seis cuadrantes muestreados se pueden observar en la tabla 2. En total se obtuvo el registro de 513 madrigueras, de las cuales 14 presentaron características de inactividad; en promedio, se obtuvo registro de 86 madrigueras por cuadrante con un diámetro de entrada de 6 cm; la densidad de las madrigueras promedio por cada metro cuadrado de manglar en el sitio M-B fue de 3 M/m² (madrigueras/m²).

Tabla 2. Registro de abundancia, frecuencia de características y promedio del diámetro de entrada de madrigueras de *C. crassum* en seis cuadrantes de muestreo realizados en el sitio M-B

Madrigueras											
Cuadrante	Abundancia	Ø(cm)	Densidad (M/m ²)	LS	LF	E	H	P	TLF	TLS	Inactiva
1	54	8	2	33	3	14	1	1	0	9	3
2	68	6	3	41	0	31	0	3	3	18	6
3	83	5	3	44	1	33	0	2	1	37	0
4	111	6	4	26	5	29	0	0	2	61	5
5	79	7	3	13	1	60	0	1	0	16	0
6	118	5	5	28	5	76	0	1	3	30	0
Promedio	86	6	3	31	3	41	0	1	2	29	2
Total	513	—	—	185	15	243	1	8	9	171	14

Notas: Abundancia = Total de madrigueras; Ø = Diámetro de entrada de madriguera; Densidad = Madrigueras por metro cuadrado; LS = Lodo seco; LF = Lodo fresco; E = Excremento; H = Huellas; P = Presencia; TLF = Tapada Lodo Fresco; TLS = Tapada Lodo Seco; Inactiva = Indicios de abandono.

Las características de las madrigueras activas con mayor frecuencia promedio fue la presencia de excremento (E), con 41 registros, seguida de lodo seco (LS) con 31, y tapadas con lodo seco (TLS), con 29 (tabla 2).

Monitoreo de temporada reproductiva

Uno de los atributos ecológicos más importantes para tener una mejor noción para el entendimiento y la planificación óptima del manejo de las especies, son los aspectos del ciclo reproductivo, por lo que se procedió a realizar un monitoreo para la ubicación y el registro de las cangrejos hembras con indicios de fecundidad (cambio de coloración del caparazón de azul a blancuzca).

De esta forma se ha logrado observar un total de 23 cangrejos hembra presumiblemente fecundadas (figuras 14, 15 y 16). Estos registros se han realizado por medio de observación directa, señalando la localización de la madriguera correspondiente a cada una de las hembras, señalizando y tomando el registro de la geoposición satelital de cada una de las madrigueras, y, en caso de ser posible, realizando un registro fotográfico.

La factibilidad del registro de datos característicos sobre las diferentes fases que tienen lugar durante el periodo reproductivo del cangrejo Mazunte (*C. crassum*), sin necesidad de un manejo invasivo/intrusivo, optando por un monitoreo focal, depende en gran medida del comportamiento evasivo que presentan los cangrejos ante la presencia de actividad humana (tránsito de personas, trabajo en campo y otras); lo anterior por tratarse de una zona que es de carácter privado con acceso al público por actividades turísticas. Sin embargo, se ha podido observar cierta periodicidad de características de fertilidad/fecundidad, así como de características asociadas al proceso de muda del exoesqueleto de algunas hembras de cangrejo Mazunte (tabla 3).

Tabla 3. Monitoreo de cambio de fases y presencia de características en algunas hembras de cangrejo Mazunte (*C. crassum*) durante el periodo de reproducción junio-julio 2023 (sitio de monitoreo M-C)

ID	Fecha	Estatus I	Fecha	Estatus II	Fecha	Estatus III
H01	19-jun	Coloración blancuzca	01-jul	Madriguera tapada	16-jul	Madriguera tapada
H02	19-jun	Coloración blancuzca	10-jul	Madriguera tapada	31-jul	Madriguera tapada
H03	22-jun	Coloración blancuzca	26-jun	Coloración azul	31-jul	Coloración azul
H07	29-jun	Coloración blancuzca	10-jul	Coloración blancuzca	16-jul	Coloración azul
H14	30-jun	Coloración blancuzca	04-jul	Masa ovígera	10-jul	Coloración azul

Discusión

Los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México, evidenciaron que la inserción de dos especies de insectos o gorgojos (*Neochetina bruchi* y *N. Eichhorniae*), conocidos como neoquetinos, permitieron el control de manera natural de la reproducción del lirio, controlando la contaminación paisajística de la laguna provocada por la maleza de lirio acuático. Las actividades de senderismo

realizadas por los turistas en la laguna, quienes colocan los neoquetinos en el lirio, propician el turismo regenerativo para recuperar el paisaje y los ecosistemas impactados por el lirio. De un total contaminado de 70% de la laguna, se controló 40% (véase figura 16), ya que ecosistémicamente el lirio acuático también tiene la función de capturar los metales pesados y acumularlos en el fondo de la laguna, convirtiéndolos en oxígeno. Hay una gran diferencia entre el uso de pesticidas y el retiro manual del lirio por medio del control dirigido que aplica medidas de remediación natural con el apoyo de los investigadores del Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua, quienes aplicaron esta remediación en algunas presas de Sinaloa con resultados exitosos.

Figura 16. *Actividad de senderismo en la laguna de Tecocomulco*



Fuente: fotografía propia, 2018.

El segundo caso con resultados positivos de la incidencia del Turismo Regenerativo Especializado en el Medio Ambiente y en la mitigación de fenómenos naturales es el de Mazunte, Costa de Oaxaca, México, donde se realizaron actividades de turismo regenerativo, como la reproducción asistida del cangrejo en las riberas de la playa del municipio de El Mazunte, a través de talleres ubicados en un predio federal junto a la escuela primaria Cristobal Colón de Santa María Tonameca, donde se enseñaba a los niños de la escuela el proceso de reproducción del cangrejo. Para asegurar la afirmación de la reducción de la población de cangrejos se monitoreó a la

población de cangrejos a través del muestreo indirecto aleatorio que permitió cuantificar las condiciones del hábitat del cangrejo azul llamado Mazunte, con el monitoreo de las hembras en periodo reproductivo en 2023, notándose un incremento de madrigueras de 100% después del huracán *Ágata* en 2022, el cual destruyó todo el avance de reproducción asistida del cangrejo. Está por comprobarse que los ecosistemas se regeneran naturalmente con estos fenómenos; sólo revisaremos cuantitativamente el impacto real continuando el monitoreo durante 2023.

Los resultados de estas dos investigaciones confirman que el turismo regenerativo especializado incide en la regeneración del medio ambiente de manera acelerada, a pesar de los peligros naturales, como el desbordamiento de la presa cercana a la laguna de Tecocomulco que llevó el lirio acuático hacia la laguna. El segundo caso fue el paso del huracán *Ágata* de categoría 3 en 2022 en El Mazunte, que destruyó el mangle, hogar y alimento del cangrejo Mazunte. A tres meses del paso del huracán aparecieron algunos cangrejos saliendo de sus madrigueras sin que tengamos una cuantificación exacta de los mismos, pero con los cursos de capacitación impartidos en 2020 y 2021 sobre turismo regenerativo, mediante los cuales se motivó e incentivó a las comunidades locales a realizar actividades a favor de la regeneración de la especie, se retomó la recuperación, la conservación y la regeneración del mismo. Por lo tanto, el turismo regenerativo es una herramienta factible para la mitigación de fenómenos naturales que le ocurran al medio ambiente. Es necesario confirmar esa tendencia durante los próximos años para el mejoramiento del medio natural.

Referencias

- Aguilar Z., J., Camarena M., O., Vega N., R., Bojórquez B., G., Contreras M., J. T., y González S., A. (2016). *Seguimiento al control biológico de lirio acuático y transferencia de tecnología en el distrito de riego 010, Culiacán, Sinaloa, México* [ponencia]. I Congreso Nacional de Riego y Drenaje, COMEII, Jiutepec, Morelos, México. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2822.2803>.
- Berlanga Robles, C. A., y Ruiz Luna, A. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, (66), pp. 25-46.

- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2015). *Estadísticas del agua en México*. Semarnat.
- Huizar Álvarez, R., Jiménez Fernández, E. J., y Juárez López, C. (eds.) (2005). *La laguna de Tecocomulco: geo-ecología de un desastre* (publicación especial, 3). UNAM, Instituto de Geología.
- Kemper, K. (2018). *Práctica global de medio ambiente y recursos naturales del Banco Mundial*. s. e.
- Mohedano, F. (2020). *Diseño de un modelo de acciones de socioecogestión para la recuperación y conservación del paisaje de humedales continentales naturales: caso Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México*. UNICEPES.
- Spiegel, M. R., y Stephens, L. J. (2009). *Estadística* (4ª ed.). McGraw-Hill.
- Uscocovich Garcés, G. D. (2015). *Reproducción y densidad poblacional del cangrejo azul *Cardisoma crassum*, en la isla Cerritos, estuario del río Chone, Manabí, Ecuador* [tesis de maestría]. Universidad de Guayaquil.

Sobre los autores

Editores

Jacinto Elías SEDEÑO DÍAZ

Biólogo de profesión por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, con maestría en ciencias en ingeniería ambiental por la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura y Candidato a doctor en ecología en el Instituto Politécnico Nacional. Se ha desempeñado en la Comisión Nacional del Agua de México; colaboró en la Dirección General de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar. Actualmente es colaborador de la Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad del Instituto Politécnico Nacional. Ha dirigido 14 proyectos de investigación relacionados con la salud de los ecosistemas acuáticos y cuenta con 42 publicaciones internacionales indizadas, la edición de un libro y 17 capítulos de libro. Es editor asociado del número especial de “Macrolatinos” en la *Revista Hidrobiológica*; editor asociado invitado de la revista *Frontiers in Environmental Science*, sección Drylands, y editor revisor de la revista *Frontiers in Water*, sección Water and Ecosystem Interfaces. Ha participado como instructor *ad honorem* en tres cursos internacionales en Costa Rica y Panamá sobre calibración y validación del índice BMWP. Asimismo es profesor invitado del programa académico de Biomedicina Ambiental Translacional de la Universidad Autónoma de Nayarit y miembro de la Society for Freshwater Science y de las Redes de Medio Ambiente del Instituto Politécnico Nacional, de Refama, de la Red Mexicana de Cuencas y de la Red Macrolatinos.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0008-2969>.

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=16176313500>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Jacinto-Sedeno-Diaz>

Loop: <https://loop.frontiersin.org/people/1046149/overview>

SciProfiles: <https://sciprofiles.com/profile/JacintoEliasSedeno>

Diana Cecilia ESCOBEDO URÍAS

Es doctora en ciencias marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. Obtuvo la maestría en manejo de recurso marinos en la misma institución y estudió la licenciatura en biología en pesquerías en la Universidad Autónoma de Occidente. Sus áreas de investigación son eutrofización costera y calidad del aire. Se ha desempeñado como jefa de la Oficina de Contaminación en la Estación Oceanográfica de la Secretaría de Marina en Topolobampo, Sinaloa. Actualmente es profesora-investigadora en el IPN-CIIDIR-Sinaloa, donde ha sido jefa del Departamento de Medio Ambiente, subdirectora de Vinculación y Apoyo Técnico y directora durante el periodo 2013-2016. Ha dirigido más de 40 proyectos de investigación y ha participado como investigadora adjunta en alrededor de 30 proyectos, en colaboración con instituciones nacionales e internacionales. Ha publicado 44 artículos de investigación y difusión y 20 capítulos de libro, dirigido 13 tesis de maestría y seis de doctorado, y dictado conferencias en numerosos congresos nacionales, internacionales y eventos académicos. Pertenece a diversas redes de investigación y a asociaciones científicas nacionales e internacionales y fue integrante del Consejo Estatal de Cambio Climático de Sinaloa de 2017 a 2021. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel II), del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos (investigadora honoraria) e integrante del Consejo Ciudadano de Ecología de Sinaloa. Actualmente es coordinadora del Programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente del CIIDIR-Sinaloa y Coordinadora de la Red de Medio Ambiente del IPN.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0174-1161>.

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204235805>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=UnOgr84AAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Diana-Escobedo-Urias>

Academia: <https://independent.academia.edu/DianaEscobedoUrias>

Eugenia LÓPEZ LÓPEZ

Es doctora en ecología por la Escuela Nacional de Ciencia Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Ha realizado cuatro estancias de investigación:

1. Estación Ecológica de Chapala (en colaboración con la Universidad de Baylor) sobre limnología experimental; 2. Universidad Earth, sobre biomonitoreo con macroinvertebrados bentónicos; 3. Universidad de Oviedo, España, sobre evaluación de DNA ambiental; 4. Instituto Gorgas, Panamá, sobre metabolismo de la degradación de hojarasca y su relación con las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Es profesora investigadora del ENCB-IPN. Integrante de la planta docente de la licenciatura en biología y del núcleo básico del posgrado en ciencias químico-biológicas (maestría y doctorado) así como del posgrado Masitam (maestría en sostenibilidad e innovación en tecnología ambiental). Cuenta con 86 publicaciones en publicaciones indizadas y 17 capítulos de libros. Ha dirigido más de 50 tesis de licenciatura, maestría y doctorado enfocadas en la evaluación de ambientes dulceacuícolas, empleando peces, macroinvertebrados acuáticos, aves y anfibios como bioindicadores.

Línea de investigación: evaluación de la salud de los ecosistemas acuáticos. Ha dirigido más de 10 proyectos con diferentes fuentes de financiamiento (Conacyt, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México y Secretaría de Medio Ambiente de Guanajuato), así como 25 proyectos de la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN. Dirigió un proyecto multired sobre el “Desarrollo de una plataforma móvil para la evaluación de la calidad del agua y su uso en ciencia ciudadana”. Actualmente dirige un proyecto multidisciplinario: “Gestión del agua y contaminación ambiental en sistemas lagunares impactados por actividades antrópicas”. Colabora en proyectos sobre evaluación del efecto de la pluma de contaminantes de termoeléctricas en especies de mangle, y ha colaborado con la University of Siegen en el seguimiento de las condiciones ambientales de los lagos de la cuenca de México.

Distinciones: miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 3. Reconocimiento de la Convención Internacional Ramsar y de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México por el proyecto de investigación en el humedal de la Laguna de Yuriria. Ha participado como instructora *ad honorem*, en el taller “Calibración y validación del BMWP/PAN (Biological Monitoring Working Party para Afluentes Superficiales de Panamá)”, invitada por el Ministerio de Ambiente y el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud, Panamá, 2016. Es nodo de la Red de Medio Ambiente del IPN y pertenece a la Red de Macrolatinos, a la Red Latinoamericana, a la red del Caribe de Limnología y, a nivel nacional, a la Red de Cuencas Hidrológicas, a la Redmora y a la Refama. Ha sido

editora de libros y volúmenes especiales sobre ecología acuática (*Frontiers in Environmental Sciences, Environmental Sciences and Pollution Research*, así como *Hidrobiología*). Es revisora de diferentes publicaciones indizadas de Elsevier, Springer, Wiley, entre otras. Es miembro del grupo de editores de *Frontiers in Environmental Sciences (Freshwater Science)*.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2696-533X>.

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=taA2kiEAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Eugenia-Lopez-Lopez/>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701711198>

Elsevier pure: <https://ipn.elsevierpure.com/es/persons/eugenia-l%C3%B3pez-l%C3%B3pez/publications/>

Academia: <https://ipn.academia.edu/EugeniaL%C3%B3pez>

María Elena TAVERA CORTÉS

Profesora-investigadora de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional en México. Realizó su licenciatura en economía en la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional; asimismo, cursó la maestría en desarrollo económico, ESE-IPN. Sus estudios de doctorado versan sobre socioeconomía estadística e informática, por el Colegio de Posgraduados, Montecillos, Texcoco. Actualmente tiene la distinción de SNI (nivel I).

Imparte las cátedras de macroeconomía, economía ambiental y gestión de proyectos. Desempeñó el cargo de jefa de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la UPIICSA durante el periodo 2009-2013. Ha realizado evaluaciones en el marco de la convocatoria 2017 del Programa de Estímulos a la Innovación del Conacyt. Ha sido directora de proyectos vinculados con la Comisión Federal de Electricidad y con la empresa Tecnosilicatos de México S. A. de C.V., Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (compostaje y aprovechamiento de residuos). Ha dirigido y participado en tesis de licenciatura, maestría y doctorado y realiza publicaciones de diversos artículos científicos en revistas nacionales e internacionales, así como en congresos. En 2013 obtuvo el Premio Blis en la categoría de posgrado otorgado por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. En 2019 obtuvo el premio a la investigación en las áreas de ciencias sociales y humanidades en el Instituto Politécnico Nacional.

Su línea de investigación es el crecimiento económico, el desarrollo Sustentable y Financiamiento. Desarrolla diversos proyectos sobre economía ambiental. Destacan sus estudios sobre crecimiento económico, desarrollo sostenible y evaluación de impacto ambiental; valoración económica ambiental, monitoreo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, gestión ambiental, residuos sólidos urbanos y aprovechamiento de energía limpia con tecnologías domésticas.

Ocupa el cargo de secretaria de la Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria de mayo de 2018 a la fecha.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2179-2735>.

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57189370426>

Google Académico: https://scholar.google.com.mx/citations?user=49GJX_cAAAAJ&hl=es

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Tavera-Cortes>

Autores

Guadalupe Bibiana BENAVIDES OJEDA

Doctora en Derecho y Ciencias Jurídicas, y en Juicio Oral y Derechos Humanos; cuenta con una estancia posdoctoral en Métodos Cualitativos y Cuantitativos; maestra en Derecho y Negocios Internacionales, en Ciencias de la Educación y en Derecho Procesal Penal; licenciada en Comercio Internacional, en Contaduría Pública y en Derecho y Ciencias Jurídicas. Actualmente está adscrita a la Escuela Superior de Comercio y Administración (ESCA), unidad Santo Tomás, del Instituto Politécnico Nacional (IPN). CVU del CONAHCYT: 661517. Es miembro de la Asociación Mexicana de Investigación del Derecho (AMID) y sus principales líneas de investigación son “Alimento básico, nutritivo, sustentable, económico, no perecedero y de fácil preparación para hacer frente a situaciones difíciles, como una aportación al OSD 2 Hambre cero” e “Impacto de la pandemia en el sistema educativo mexicano: Desafíos y brechas para la equidad educativa”. Sus últimas publicaciones son:

- Benavides Ojeda, G. B. (20239). Introducción de la gamificación como apoyo en el desarrollo de habilidades cognitivas, para la formación integral de los estudiantes en el IPN. *Academia Journals*, 15(6), 4.9. <https://www.academiajournals.com/pubchiapas2023>

- Escobedo Guerrero, G. G., Benavides Ojeda, G. B. y Alonso Flores, M. Á. (2020, mayo). Solución de controversias mediante el Derecho Internacional. *Revista Administración Contemporánea*, (40), 141-170. <http://colparmex.com/wp-content/uploads/2019/12/Administraci%C2%A6n-Contempor%C3%ADnea-2020-40-a.pdf>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0856-2699>

Google Académico: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=guadalupe+bibiana+benavides+ojeda&oq=

José Luis CABALLERO MONTES

Doctorando en Ciencias de la Educación e Innovación Educativa por la Universidad Nacionalista México; maestro en Administración de la Construcción por el Instituto Tecnológico de la Construcción, y licenciado en Ingeniería Civil por el Instituto Tecnológico de Oaxaca. Actualmente está adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN). CVU del CONAHCYT: 253997. Líneas de investigación: vivienda y habitabilidad; proyectos de intervención sostenibles del hábitat humano; arquitectura comunitaria; arquitectura pedagógica, y economía solidaria en la línea de diseño y tecnologías sostenibles para la edificación. Sus últimas publicaciones son:

- Caballero Montes, J. L., Ríos Ventura, F. G. y Alavéz Ramírez, R. (2024). Mejoramiento de la habitabilidad de la vivienda construida con fondos de remesas mediante estrategias bioclimáticas pasivas. *Anales de Investigación en Arquitectura*, 14(1). <https://doi.org/10.18861/ania.2024.14.1.3427>
- Martínez, E. D., Martínez, E., Vásquez, A. Sangerman, D. M., Espinoza, C. y Caballero, J. L. (2023). Diagnóstico participativo para la transferencia de ecotecnología en comunidad rural de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(4), 579-589. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3477>
- Aguilar Herrera, G., Caballero Montes, J. L., y Alavéz Ramírez, R. (2023). Producción Social del Hábitat en la construcción de viviendas en contextos de desastres socioambientales. *Brazilian Journal of Development*, 9(3), 11072-11083. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n3-144>
- Caballero Montes, J. L., López, A. N., y Alavéz Ramírez, R. (2022). Las políticas educativas para mejorar la infraestructura escolar en México: Propuesta de modelo de escuela sostenible para comunidades marginadas. En

L. González Díez, N. Navarro Sierra y R. Vinader Segura (Coords.), *Tendencias en innovación y transferencia del conocimiento: De la universidad a la sociedad* (pp.57-73). Dykinson.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3634-2080>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=GYYP3wAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Jose-Luis-Montes>

Cynthia CRUZ CARRASCO

Doctora en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico; maestra en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico y licenciada en Administración. Actualmente cumple una estancia posdoctoral CONAHCYT en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Es miembro de la Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología (SOMUCAAB), y sus líneas de investigación son políticas públicas, buen vivir, género y desarrollo local. Sus últimas publicaciones son:

- Cruz Carrasco, C. y López Cruz, J. Y. (2023). Impact of the Sowing Life program in the forms of social organization, from the good living approach in San Blas Atempa, Oax. *Journal Urban-Rural and Regional Economy*, 7(13), 14-24. <https://doi.org/10.35429/JURRE.2023.13.7.14.24>
- Cruz Carrasco, C. y López Cruz, J. Y. (2023). Impacto del programa Sembrando Vida en el desarrollo local. Estudio de caso: San Blas Atempa, región Istmo, Oaxaca. *Revista Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología*, 3, 37-42.
- Cruz Carrasco, C., López Cruz, J. Y. y Sánchez Álvarez, M. (2023). Sembrando vida, bienestar y género en el municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca. En S. de la Vega Estrada y H. M. Sáenz Vela (Coords.), *Desigualdad regional y empobrecimiento: Gestión de los territorios con inclusión social* (pp. 63-78). UNAM-IIEC y AMECIDER. <https://ru.iiec.unam.mx/6076>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9419-3381>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Cynthia-Carrasco>

Google Académico: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=wBsP0I8AAAAJ&hl=es>

Verónica CRUZ MORALES

Doctora en Ciencias Administrativas, maestra en Educación y licenciada en Educación Secundaria con especialidad en Biología. Actualmente está adscrita a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la Escuela Superior de Comercio y Administración (ESCA), unidad Santo Domingo, del Instituto Politécnico Nacional. Es miembro de las redes de investigación Educarnos, Interleader y GIECAE. Sus líneas de investigación son políticas educativas, gestión y liderazgo con enfoque a instituciones educativas, políticas públicas sobre economía del cuidado, desarrollo organizacional de instituciones educativas, y educación ambiental y sustentable. Sus Tres últimas publicaciones principales, en revista, con editorial y año de publicación. Sus últimas publicaciones son:

- Cruz Morales, V. (2022). Mi vocación, mi presente y futuro como docente. En J. Navarro-Saras (Coord.), *Nuestro presente, nuestro futuro: Historias y narrativas docentes* (pp. 81-86). Educarnos. <https://da11f6.a2cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2022/05/14veronica.pdf>
- Cruz Morales, V. (2021). La docencia en tiempos del covid-19. En J. Navarro-Saras (Coord.), *Amar la profesión: Historias y narrativas de profesores y profesoras* (pp. 185-190). Educarnos. <https://da11f6.a2cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2021/05/veronica-cruz.pdf>
- Cruz Morales, V., Guevara Valdez, J. A. y Cerecedo Mercado, M. T. (2018). Crisis y realidad en la formación de directivos escolares en México. *Vinculatégica EFAN*, 3(2), 142-150. http://www.web.facpya.uanl.mx/Vinculategica/vinculat%C3%A9gica_2/19%20CRUZ_GUEVARA.pdf
- Cruz Morales, V., Guevara Valdez, J. A. y Mercado Cerecedo, M. T. (2017). Reformas educacionales de ayer y hoy en México. En M. N. Ruiz (Comp.), *Transformación educativa, sustentabilidad y prácticas emancipatorias* (pp. 401-413). Frontera Abierta. <https://www.uv.mx/veracruz/uvca-277-estulticia/files/2019/03/PREALAS-1-2.pdf#page=402>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8224-517X>

Alma Regina DÁVILA SÁMANO

Doctora en Ciencias Ambientales y en Derecho, ambos por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX); maestra en Derecho por la UAEMEX, y licenciada en Derecho por la Universidad Veracruzana (UV). Actualmente es profesora de posgrado y licenciatura en la UAEMEX. Es miembro de la Red Internacio-

nal Transdisciplinaria para la Educación e Investigación de Soberanía Alimentaria (RITEISA) y sus líneas de investigación son educación ambiental; evaluación de impactos ambientales en agua, aire y suelo; gestión de residuos sólidos urbanos, y derechos humanos. Sus últimas publicaciones son:

- Dávila Sámano, A. R., Castillo Suárez, L. A., Linares Hernández, I., García Colindres, M. A. y Martínez Miranda, V. (2024, enero-abril). Efectos ambientales en el aire, agua y suelo de los residuos sólidos urbanos de un relleno sanitario del Estado de México. *Investigación y Ciencia*, (91). <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/4520>
- Dávila Sámano, A. R., Sánchez Alba, B. y Gil Ruiz, P. (2023). Sostenibilidad y gestión de residuos en la cafetería de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid. En H. C. Vargas Cancino y V. P. Panchi Vanegas (Coords.), *Cafeterías sostenibles y alimentación soberana desde la responsabilidad social* (pp. 191-214). Comunicación Científica. <https://doi.org/10.52501/cc.147>
- Dávila Sámano, A. R., Linares Hernández, I., Castillo Suárez, L. A. y Martínez Miranda, V. (2021). Gestión de los residuos sólidos urbanos y su efecto en el aire, agua y suelo. *Alfa*, 5(15), 428-452. <https://doi.org/10.33996/revisitaalfa.v5i15.128>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4154-9078>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=TC-wewMAAAJ&hl=es>

Laura Gabriela ESPINOSA ALONSO

Doctora en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav), unidad Irapuato, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), y Química-Farmacobióloga por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Actualmente es profesora titular C del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Sinaloa, del IPN. Es miembro del SNI (nivel I) y de las redes de investigación nacionales del IPN, de la Red de Biotecnología y de la Red de Medio Ambiente, así como de la Red de Alimentos Funcionales (Alfanutra). Sus líneas de investigación son valorización de subproductos agroindustriales para la alimentación humana y animal; desarrollo de alimentos funcionales y productos nutracéuticos, y evaluación tecnofuncional de alimentos e ingredientes alimentarios.

Actualmente colabora en el Proyecto Multidisciplinario 2263 “Aprovechamiento de subproductos agroindustriales mediante biorrefinería: Generación de ingredientes, alimentos funcionales y bioplaguicidas agrícolas potenciales”, y ha colaborado en el Proyecto Multidisciplinario 2096 “Evaluación de diferentes estrategias de fertilización orgánica en cultivos de interés alimentario: Impacto a nivel agronómico, calidad nutrimental y nutracéutica de los cultivos”, ambos de la Red de Biotecnología del IPN. Sus últimas publicaciones más relevantes son:

- León Villanueva, A., Espinosa Alonso, L. G., Udenigwe, Ch. C., Valdez Morales, M., Valdez Ortiz, Á., Barba de la Rosa, A., P. y Medina Godoy, S. (2022). Chemical and functional characterization of major protein fractions extracted from nontoxic *Jatropha curcas* byproduct meals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(6), 511-523. <https://doi.org/10.1002/aocs.12581>
- Valle Castillo, C. E., Valdez Morales, M., Medina Godoy, S., Segoviano León, J. P., García Ulloa, M., Valverde Juárez, F. J. y Espinosa Alonso, L. G. (2021). Physicochemical, microbiological, and nutrimental quality of tomato industrial by-product and its valorization as source of carotenoid rich oil. *Agro Productividad*, 14(1), 49-54. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i14.1757>
- Perea Domínguez, X. P., Mendoza Espinoza, J. A., Solano González, J. M., Leyva Morales, J. B., Espinosa Alonso, L. G. y Valdez Morales, M. (2021). Antioxidant and anti-proliferative activity of free, conjugates, and bound phenolic compounds from tomato and industrial tomato by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 2361-2369. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05252-9>
- *Proceso para elaborar una tostada de maíz fortificada con subproducto del proceso de troceado mecánico industrial de chile jalapeño y el producto obtenido* [Título de patente 396983].

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4926-9268>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=14032734400>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Laura-Espinosa-Alonso>

Google Académico: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=TUGtqD4AAAAJ&hl=es>

Facebook: <https://www.facebook.com/lafciidirSin>

Laura Ivoone GARAY JIMÉNEZ

Doctora y maestra en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Bioelectrónica por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) e ingeniera en Comunicaciones y Electrónica con especialidad en Control por el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Actualmente está adscrita a la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del IPN. Es miembro de la academia de Sistema para el área de Ingeniería y de los posgrados de Maestría en Tecnología Avanzada y de Doctorado en Ingeniería y Sistemas Robóticos y Mecatrónicos (DSRYM). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) desde 2011, así como de la asociación internacional del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) desde 2009 y recientemente de la Asociación Ibero-Americana para la Comunicación Transdisciplinaria (IA-TDC). A nivel institucional, pertenece a la Red de Computación y ha participado a nivel nacional en la Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica (SOMIB) y a la red CONAHCYT RedLate.

Sus intereses científicos incluyen la instrumentación y el procesamiento de señales biológicas, y el uso de la inteligencia artificial para plantear soluciones tecnológicas desde un enfoque interdisciplinario para el diagnóstico, el seguimiento y la rehabilitación en aplicaciones en el área de la salud, educación y salud integral de ecosistemas.

Participó en el proyecto multidisciplinario “Modelación ecogeoquímica de ecosistemas costeros hacia una salud integral”, en el cual participaron la redes de investigación de Salud, de Medio Ambiente y de Computación del IPN. De esta colaboración se generaron algunos productos interesantes como:

- Garay Jiménez, L. I., Romero Lujambio, J. F., Santiago Horta, A., Tovar Corona, B., Gómez Miranda, P. y Mata Rivera, M. F. (2023). Collaboration system for multidisciplinary research with essential data analysis toolkit built-in. *Information*, 14(12), 626. <https://doi.org/10.3390/info14120626>
- Zagal Flores, R., Claramunt, Ch., Mata Rivera, M. F., Garay Jiménez, L. I., Jiménez Hernández, H., Herrera Navarro, A. M. y Argüelles Cruz, A. J. (2022). A geo-social characterization of health impact from air pollution in Mexico Valley. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 562317. <https://doi.org/10.1155/2022/5562317>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9478-4835>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204778292>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Laura-Garay-3>

Web of Science: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/S-5637-2018>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=8KmCnWUAAAAJ&hl=es&oi=sra>

Rocío GIRÓN NAVARRO

Doctora en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX), maestra en Ingeniería en Producción más Limpia por el Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMPL) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), e ingeniera Química Industrial por la Escuela de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQUIE) del IPN. Actualmente es investigadora de cátedra COMECYT adscrita al Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA) de la UAEMEX. Además, es profesora de asignatura de Termodinámica y Probabilidad y Estadística en la Universidad Politécnica del Valle de Toluca (UPVT). Sus líneas de investigación son prevención y control de la contaminación, y tratamiento de aguas residuales. Sus últimas publicaciones son:

- Girón Navarro, R., Martínez Miranda, V., Teutli Sequeira, E. A., Linares Hernández, I., Martínez Cienfuegos, I. G., Sánchez Pozos, M. y Santoyo Tepole, F. (2023). A solar photoFenton process with calcium peroxide from eggshell and ferrioxalate complexes for the degradation of the commercial herbicide 2,4-D in water. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 438(114550). <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.114550>
- Girón Navarro, R., Linares Hernández, I. y Castillo Suárez, L. A. (2021). The impact of coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19) in water: Potential risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 52651-52674. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16024-5>
- Girón Navarro, R., Linares Hernández, I., Teutli Sequeira, E. A., Martínez Miranda, V. y Santoyo Tepole, F. (2021). Evaluation and comparison of advanced oxidation processes for the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D): A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 26325-26358. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13730-y>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4452-3802>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57222657044>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Rocio-Giron-Navarro-2>

Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=6_GOX40AAAJ&hl=es

Oscar GOIZ AMARO

Doctor y maestro en Electrónica del Estado Sólido por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y licenciado en Electrónica por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Actualmente está adscrito a la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del IPN. Es miembro del SNI (nivel I) y su principal línea de investigación son los nanomateriales para sensores de gas. Sus últimas publicaciones son:

- Cruz Leal, M., Goiz, O., Márquez Niño, T. I., Coutino Gonzalez, E., Albarado Ibañez, A., Pérez Sánchez, G. F. y Alcantara C., J. A. (2024). Silver cluster supported in zeolite as antimicrobial agent to textiles. *MRS Advances*, 9, 168-171. <https://doi.org/10.1557/s43580-023-00741-9>
- Terán, G., Capula Colindres, S., Chávez, F., Velázquez, J. C., Torres Santillán, E., Ángeles Herrera, D. y Goiz, O. (2022). Charpy impact toughness in all directions with respect to the rolling direction of API 5L X52 pipeline steel. *MRS Advances*, 7(33), 1022-1027. <https://doi.org/10.1557/s43580-022-00371-7>
- Cruz Leal, M., Goiz, O., Chávez, F., Pérez Sánchez, G. F., Hernández Como, N., Santes, V. y Felipe, C. (2019). Study of the thermal annealing on structural and morphological properties of high-porosity A-WO₃ films synthesized by HFCVD. *Nanomaterials*, 9(9), 1298. <https://doi.org/10.3390/nano9091298>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7116-282X>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24472907900>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/O-Goiz>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=b2wVW3wAAAJ&hl=es>

Pilar GÓMEZ MIRANDA

Doctora en Educación por la Universidad Cum Laude Ubi Gloria Semper (CUGS) y doctoranda en Inteligencia Artificial por la Universidad Politécnica de Cataluña

(UPC); maestra en Ciencias en Enseñanza Superior por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y en Informática por la UPC, y licenciada en Ciencias de la Informática por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), donde actualmente está adscrita. Sus principales líneas de investigación son la tecnología educativa; la inteligencia artificial; la educación a distancia, híbrida y en línea; la producción de tecnología educativa; la producción de recursos didácticos digitales, y el desarrollo de sistemas de información. Sus últimas publicaciones son:

- Garay Jiménez, L. I., Romero Lujambio, J. F., Santiago Horta, A., Tovar Corona, B., Gómez Miranda, P. y Mata Rivera, M. F. (2023). Collaboration system for multidisciplinary research with essential data analysis toolkit built-in. *Information*, 14(12), 626. <https://doi.org/10.3390/info14120626>
- Jiménez García, M., Gómez Miranda, P., Romero García, J. A. y Jiménez Jiménez, R. S. (2023). Acceso a tecnologías en el rendimiento universitario en tiempos del covid-19: Análisis de asociación por clústeres. *RIDE*, 13(26). <https://doi.org/10.23913/ride.v13i26.1424>
- Gómez Miranda, P. y Jiménez García, M. (2022). Rendimiento académico de estudiantes universitarios al final de la transición de la educación presencial a la educación en línea por el covid-19. *RIDE*, 13(25). <https://doi.org/10.23913/ride.v13i25.1336>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1480-3061>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=14048272600>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Pilar-Gomez-Miranda>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=cZ--xtIAAAAJ>

AAAAJ

Guadalupe GONZÁLEZ DÍAZ

Doctora en Educación por la Cum Laude Ubi Gloria Semper (CUGS), maestra en Administración Educativa por la Universidad La Salle (ULSA), maestra en Ciencias de Enfermería con especialidad en Salud Comunitaria por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y licenciada en Enfermería y Obstetricia por la Escuela Superior de Enfermería y Obstetricia (ESEO) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Actualmente está adscrita a la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía (ENMH) del IPN y es miembro de la Red de Medio Ambiente del IPN.

Sus líneas de investigación son el ambiente y salud pública, la salud ocupacional y la salud reproductiva. Sus últimas publicaciones son:

- Reyes Ruiz, F., Ortega Pérez, M. I., Sevilla González, M. L., González Díaz, G. y Sibaja Terán, B. (2022). Fatigue and telework in Latin America teachers: An urgent need for study. En C. Espejo Guasco, E. Chacón Martínez, I. López Enríquez, F. O. López Millán y E. de la Vega Bustillos (Eds.), *Ergonomía ocupacional: Investigaciones y soluciones* (vol. 15; pp. 183-192). Sociedad de Ergonomistas de México.
- Marín Pérez, J. D., López Hernández, E. y González Díaz, G. (2022). A risk assessment of the artisanal shrimp and oyster fishing process in Veracruz. *Revista Red de Investigación y Salud en el Trabajo*, 5(S3), 155-157.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3021-4205>

Jaime Alejandro GUEVARA VALDEZ

Doctor en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad, maestro en Administración de Empresas para la Sustentabilidad e ingeniero en Energía Eléctrica y en Sistemas Electrónicos. Sus principales líneas de investigación son las energías alternativas y renovables, la energía solar, la energía fotovoltaica, los estudios ambientales y socioecológicos, el desarrollo sustentable y rural, la gestión y administración empresarial (con enfoque sustentable), la gestión y liderazgo (en instituciones privadas o educativas), y la educación ambiental. Sus últimas publicaciones son:

- Guevara Valdez, J. A., Cruz Morales, V., Serrano Flores, M. E. y Goiz Amaro, O. (2022). Comunidades rurales y la importancia de la apropiación de la energía solar fotovoltaica para el desarrollo: Potrero de la Palmita, México. En A. L. Aguilar Ruiz et al. (Eds.), *Avances científicos y tecnológicos de las ciencias ambientales en el contexto de manejo y tratamiento de la contaminación* (pp. 22-30). ITSON. <https://www.itson.mx/publicaciones/Paginas/op-recursosnaturales.aspx>
- Cruz Morales, V., Guevara Valdez, J. A. y Cerecedo Mercado, M. T. (2018). Crisis y realidad en la formación de directivos escolares en México. *VinculaTégica EFAN*, 3(2), 142-150. http://www.web.facpya.uanl.mx/Vinculategica/vinculat%C3%A9gica_2/19%20CRUZ_GUEVARA.pdf
- Guevara Valdez, J. A., Cruz Morales, V., Chavarría López, L. R. y Ramos Mendoza, J. R. (2017). Energía renovable fotovoltaica distribuida para au-

mentar competitividad y reducir costos. *Vinculatégica EFAN*, 3(1), 387-398. <http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Revistas/R3/387%20-%20398%20-%20Energia%20renovable%20fotovoltaica%20distribuida%20para%20aumentar%20competitividad%20y%20reducir%20costos.pdf>

- Guevara Valdez, J. A., Cruz Morales, V. y Chavarría-López, L. R. (2017). El conocimiento en el posgrado como apoyo a las empresas para un desarrollo sustentable. En M. N. Ruiz (Comp.), *Transformación educativa, sustentabilidad y prácticas emancipatorias* (pp. 371-385). Frontera Abierta. <https://www.uv.mx/veracruz/uvca-277-estulticia/files/2019/03/PREALAS-1-2.pdf#page=372>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-9308>

Lidia Argelia JUÁREZ RUIZ

Doctora en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales por el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN); maestra en Ciencias en Ingeniería de la Construcción y licenciada en Ingeniería Civil, con especialidad en Estructuras, ambos por el Instituto Tecnológico de Oaxaca. Actualmente está adscrita al CIIDIR y es miembro de la Red de Medio Ambiente del IPN. Sus principales líneas de investigación son la vivienda y los materiales de construcción, la durabilidad de construcciones, el diseño y tecnologías sustentables para la edificación y la educación para la sostenibilidad. Sus últimas publicaciones son:

- Cruz Moreno, C., Martínez Ramírez, E., López Garrido, P. A., Navarro Mendoza, S. M., Juárez Ruiz, L. A. y Gómez Ugalde, R. M. (2022, 30-31 de agosto). *Caracterización social, económica y ambiental de las unidades de producción acuícola en Latuvi, Oaxaca* [Ponencia]. XV Jornadas Politécnicas “Acceso universal al conocimiento y retribución social para la atención de los Programas Nacionales Estratégicos de la República Mexicana”, CIIDIR, Oaxaca, México.
- Rasilla Cano, M., Juárez Ruiz, L. A., Caballero Montes, J. L. y Ladrón de Guevara Torres, M. Á. (2021, mayo). El perfil docente adecuado para cada propuesta educativa. *Latin American Journal of Science Education*, 8(1), 1-9.
- Vera Castillo, J. D., Caballero Montes, J. L. y Juárez Ruiz, L. A. (2021). Intervención sostenible en viviendas afectadas por sismos en el Istmo de Tehuan-

tepec, Oaxaca. En M. E. Ojeda Orta, M. S. Plazola Rivera y M. Berrelleza Carrillo (Coords.), *Innovación y multidisciplinariedad en la práctica docente: Contribución significativa al aprendizaje* (pp. 341-353). ILCSA.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6180-3251>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Lidia-Ruiz>

Juana Yolanda LÓPEZ CRUZ

Doctora en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico y maestra en Ciencias en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional, ambos por el Instituto Tecnológico Nacional de México, campus Oaxaca, y licenciada en Administración Industrial por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Actualmente está adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del IPN. Es miembro del SNII (nivel I). CVU del CONAHCYT: 74876. Pertenecer a la Regional Science Association International (RSAI), así como a la Academia Nacional de Ciencias Ambientales, la Asociación Mexicana de Desarrollo Regional (AMECIDER) y la Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología (SOMUCAAB). Sus principales líneas de investigación son los sistemas productivos y la evaluación de su impacto social y económico; el ecoturismo comunitario; la responsabilidad social; los estudios de género, y el desarrollo local, comunitario y regional. Sus últimas publicaciones son:

- Cruz Carrasco, C. y López Cruz, J. Y. (2023). Impact of the Sowing Life program in the forms of social organization, from the good living approach in San Blas Atempa, Oax. *Journal Urban-Rural and Regional Economy*, 7(13), 14-24. <https://doi.org/10.35429/JURRE.2023.13.7.14.24>
- Velasco Hernández, D. A., Acevedo Ortiz, M. A., Pérez Pacheco, R., Ortiz Hernández, Y. D., Lugo Espinosa, G. y López Cruz, J. Y. (2022, agosto). Percepciones del turismo en la Villa de Zaachila, Oaxaca, México ante el covid-19 y sus implicaciones para el desarrollo sostenible. *Interciencia*, 47(8), 321-327. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2022/08/03_6885_A_Acevedo_Ortiz_v47n8_7.pdf
- González Cruz, M., Sánchez Medina, P. S. y López Cruz, J. Y. (2021, diciembre). Impacto del manejo del producto y prevención de la contaminación en la ventaja competitiva de negocios de mezcal de Oaxaca. *Dirección y*

Organización: Revista de Ingeniería y Organización, (75), 5-19. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i75.606>

- Rowles, L. S., Alcalde, R., Bogolasky, F., Kum, S., Díaz Arriaga, F. A., Ayres, C., Mikelonis, A. M., Toledo Flores, L. J., Alonso Gutiérrez, M. G., Pérez Flores, M. E., Lawler, D. F., Ward, P. M., López Cruz, J. Y. y Saleh, N. B. (2018, mayo). Perceived versus actual water quality: Community studies in rural Oaxaca, Mexico. *Science of the Total Environment*, 622-623, 626-634. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.309>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-2245>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55809692200>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Juana-Lopez-Cruz>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=6Vuxxp8AAAJ&hl=es>

Araceli LOYOLA ESPINOSA

Licenciada en Turismo. Actualmente está adscrita a la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Sus principales líneas de investigación son la sustentabilidad, la sociedad y el turismo. Su última publicación es:

- Mohedano López, F. y Loyola Espinosa, A. (2023). Turismo sostenible regenerativo: Estrategias de impulso al desarrollo de las comunidades locales [Resumen]. En A. Martínez Puche y Y. G. Puerta de Armas (Eds.), *VIII Congreso Iberoamericano sobre Turismo Sustentable: Libro de resúmenes* (p. 8). Ambiente & Sustentabilidad.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9724-4641>

Gema LUGO ESPINOSA

Doctora en Ciencias Agrarias por la Universidad Autónoma Chapingo, maestra en ciencias en Desarrollo Rural por el Colegio de Posgraduados, campus Montecillos, y licenciada en Turismo por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX). Actualmente está adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Es candidata al SNI (CVU: 252543) y sus principales líneas de investigación son el desarrollo sustentable, el patrimonio cultural, el género, el turismo y la conservación comunitaria. Sus últimas publicaciones son:

- Velasco Hernández, D. A., Acevedo Ortiz, M. A., Pérez Pacheco, R., Ortiz Hernández, Y. D., Lugo Espinosa, G. y López Cruz, J. Y. (2022, agosto). Percepciones del turismo en la Villa de Zaachila, Oaxaca, México ante el covid-19 y sus implicaciones para el desarrollo sostenible. *Interciencia*, 47(8), 321-327. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2022/08/03_6885_A_Acevedo_Ortiz_v47n8_7.pdf
- Acevedo Ortiz, M. A., Ortiz Hernández, Y. D., Pérez Pacheco, R., Vásquez López, A., Lugo Espinosa, G. y Ortiz Hernández, F. E. (2018, marzo). La inclusión de comunidades en la conservación de áreas naturales: Caso Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. *Interciencia*, 43(3), 168-174. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33957185003>
- Lugo Espinosa, G., Alberti Manzanares, P., Figueroa Rodríguez, Ó. L., Talavera Magaña, D. y Monterrubio Cordero, J. C. (2011). Patrimonio cultural y género como estrategia de desarrollo en Tepetlaoxtoc, Estado de México. *Pasos: Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 9(4), 599-612. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2011.09.057>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2030-674X>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57201281138>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Gema-Lugo-Espinosa-2>

Google Académico: https://scholar.google.com.mx/citations?user=v_cFGeU-AAAAJ&hl=es&oi=ao

Sergio MEDINA GODOY

Doctor en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas e Ingeniero Bioquímico. Actualmente está adscrito como profesor titular C al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Sinaloa, del Instituto Politécnico Nacional. Es miembro del SNII (nivel I) y pertenece a la Red de Biotecnología del IPN, donde ha colaborado en dos proyectos multidisciplinarios, uno de los cuales coordina uno (Proyecto 2263 “Aprovechamiento de subproductos agroindustriales mediante biorrefinería: Generación de ingredientes, alimentos funcionales y bioplaguicidas agrícolas potenciales”). Sus principales líneas de investigación son el desarrollo de procesos biotecnológicos para la obtención de ingredientes funcionales a partir de residuos agroindustriales, y la obtención, caracterización de proteínas de fuentes alternativas y su empleo en industria alimentaria. Sus últimas publicaciones son:

- Castro Ochoa, L. D., Hernández Leyva, S. R., Medina Godoy, S., Gómez Rodríguez, J., Aguilar Uscanga, M. G. y Castro Martínez, C. (2023). Integration of agricultural residues as biomass source to saccharification bioprocess and for the production of cellulases from filamentous fungi. *3 Biotech*, 13, 43. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03444-4>
- León Villanueva, A., Espinosa Alonso, L. G., Udenigwe, Ch. C., Valdez Morales, M., Valdez Ortiz, Á., Barba de la Rosa, A., P. y Medina Godoy, S. (2022). Chemical and functional characterization of major protein fractions extracted from nontoxic *Jatropha curcas* byproduct meals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(6), 511-523. <https://doi.org/10.1002/aocs.12581>
- Valdez Morales, M., Sandoval Castro, C. J., Gutiérrez Dorado, R., Mendoza Espinoza, J. A., Medina Godoy, S. y Espinosa Alonso, L. G. (2021). Oil recovery from jalapeño pepper by-products and analysis of the industrial scalding process on its nutraceutical potential, waste and biomass valorization. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 4475-4487. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01323-8>
- *Proceso para elaborar una tostada de maíz fortificada con subproducto del proceso de troceado mecánico industrial de chile jalapeño y el producto obtenido* [Título de patente 396983].

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4718-2169>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57217236190>

ResearchGate: www.researchgate.net/profile/Sergio-Medina-8

Google Académico: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=bHCg4-0AAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Medina-8>

Bani Azrael MEJÍA-FLORES

Licenciado en Ciencias de la Informática por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es estudiante de la Licenciatura en Contaduría en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Su principal área de interés es el desarrollo de aplicaciones móviles y backend, y cuenta con más de siete años de experiencia en empresas como Grupo Carso, Banorte, Grupo Salinas, Gentera y Grupo Coppel en proyectos de e-commerce, transformación digital y reconocimiento facial. Durante los últimos siete años ha participado en proyectos con grandes

funcionalidades de impacto en los negocios, lo que le ha permitido desarrollar habilidades técnicas y analíticas para crear soluciones innovadoras que mejoren la experiencia del usuario y optimicen los procesos empresariales.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1742-1906>

Fernando MOHEDANO LÓPEZ

Doctor en Conservación y Recuperación del Medio Natural por el Centro Panamericano de Estudios Superiores, maestro en Economía de Negocios por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), maestro en Ingeniería Eléctrica por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y licenciado en Ciencias de la Informática por el IPN. Actualmente está adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la Escuela Superior de Turismo (EST) del IPN. Es candidato a investigador del SNII y forma parte de la Red Iberoamericana de Medio Ambiente (REIMA), así como de la Red de Medio Ambiente y Red de Expertos en Sistemas Complejos del IPN. Sus principales líneas de investigación son la sustentabilidad, la sociedad y el turismo. Sus últimas publicaciones son:

- Mohedano López, F. y Loyola Espinosa, A. (2023). Turismo sostenible regenerativo: Estrategias de impulso al desarrollo de las comunidades locales [Resumen]. En A. Martínez Puche y Y. G. Puerta de Armas (Eds.), *VIII Congreso Iberoamericano sobre Turismo Sustentable: Libro de resúmenes* (p. 8). Ambiente & Sustentabilidad.
- Mohedano López, F. (2022). Turismo regenerativo opción innovadora aceleradora del desarrollo turístico sustentable. En *Turismo y región: Una mirada global al desarrollo sostenible* (pp. 129-142). CORHUILA.
- Mohedano López, F. (2021). Modelo de acciones de socioecogestión para la recuperación y conservación del paisaje del humedal Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. En L. E. Claudio García y R. Novelo González (Comps.), *Horizontes y perspectivas del paisaje* (pp. 147-176). Academia Mexicana del Paisaje.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0894-5642>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Mohedano>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=rxrJLOsAAAA>

J&hl=es

Ana Belem PIÑA GUZMÁN

Doctora y maestra en Toxicología, ambos por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), e ingeniera Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente es profesora-investigadora adscrita a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) del IPN. Es miembro de la Red Iberoamericana de Ingeniería en Saneamiento Ambiental (REDISA), de la redes de Medio Ambiente y de Biotecnología del IPN y de la Asociación Mexicana de Expertos en Residuos Sólidos (SOMERS). Sus principales líneas de investigación son la evaluación de riesgo ambiental y a la salud por contaminantes ambientales, el monitoreo de rellenos sanitarios y los bioprocesos aerobios para el tratamiento de biorresiduos. Sus últimas publicaciones son:

- Vela Carrillo, A. Z., Godínez, L. A., García Espinoza, J. D., Martínez, R. J., Franco Hernández, M. O., Piña Guzmán, A. B., Santos, M. C., Robles Martínez, F., Robles, I. (2023). Carbon paste electrodes obtained from organic waste after a biodrying process and validation in an electro-fenton system towards alternative valorization. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 67(4), 359-370. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v67i4.1962>
- Ballesteros Vásquez, L. C., Robles Martínez, F., Contreras Cisneros, R. M., Piña Guzmán, A. B. y Osorio Mirón, A. (2022, julio-agosto). Residuos agrícolas y agroindustriales biosecados como alternativa energética. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 10(57). https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/biosecado_ipn._2_div_jul-ago_2022_v2.pdf
- Contreras Cisneros, R. M., Orozco Álvarez, C., Piña Guzmán, A. B., Ballesteros Vásquez, L. C., Molina Escobar, L., Alcántara García, S. Sh. y Robles Martínez, F. (2021). The relationship of moisture and temperature to the concentration of O₂ and CO₂ during biodrying in semi-static piles. *Processes*, 9(3), 520. <https://doi.org/10.3390/pr9030520>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9932-3517>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8501860700>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Ana-Belem-Pina-Guzman>

Google Académico: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=zuDAajMAAAAJ&hl=es>

Margarita RASILLA CANO

Doctora en Ciencias de la Educación e Innovación Educativa, maestra en Educación Media Superior y Universitaria y licenciada en Química. Profesora de tiempo completo titular C adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Es miembro de la Red Late (Red Temática Mexicana para el Desarrollo e Incorporación de Tecnología Educativa) y del Comité de Tecnologías de la Información y Comunicaciones ANUIES-TIC. Sus principales líneas de investigación son el diseño didáctico y el desarrollo curricular de nivel medio superior, superior y posgrado. Sus últimas publicaciones son:

- Vera Castillo, J. D., Rasilla Cano, M. y Caballero Montes, J. L. (2020, mayo). Estrategia educativa para el uso y aprovechamiento del carrizo en viviendas afectadas por sismos en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. *Latin American Journal of Science Education*, 7(1), 12001. http://www.lajse.org/may20/2020_12001.pdf
- Juárez Ruiz, L. A., Caballero Montes, J. L. y Rasilla Cano, M. (2018, diciembre). Diseño y tecnologías sustentables para la edificación: Diseño curricular con enfoque social solidario. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social*, 12(25). <https://www.eumed.net/rev/oidles/25/edificacion-sustentable.html> <http://hdl.handle.net/20.500.11763/oidles25edificacion-sustentable>
- Rasilla Cano, M. y Juárez Ruiz, L. A. (2016, julio). Multidisciplinary approach for curriculum design of professional master's program with focusing on solidary economy in Oaxaca, Mex. *Educational Research and Reviews*, 11(14), 1317-1323. <https://doi.org/10.5897/ERR2016.2669>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8873-5471>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Margarita-Rasilla-Cano>

Google Académico: https://scholar.google.es/citations?user=gsd4_nAAAAAJ&hl=es

Blanca Alicia RICO JIMÉNEZ

Doctora en Educación, maestra en Ciencias de la Computación e ingeniera en Sistemas Computacionales. Desde 2005 es profesora-investigadora titular de tiempo completo en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y forma parte de la Red LATE

México. Sus principales líneas de investigación son la viabilidad de clases virtuales pospandémicas en el área de tecnología a nivel universitario; el diseño de un sistema informático para la gestión del rediseño curricular en el nivel superior del IPN, y el sistema m-learning como auxiliar en la interpretación médica del electroencefalograma. Sus últimas publicaciones son:

- Rico Jiménez, B. A. (2022, mayo-agosto). Estrategia tecnológica colaborativa (ETC) basada en la revisión por pares para estudiantes de Ingeniería. *Revista Conexión*, 11(32), 22-36. https://aliatuniversidades.com.mx/conexion/wp-content/uploads/2023/08/conex_32_c.pdf#page=22
- Rico Jiménez, B. A., Garay Jiménez, L. I. y Ruiz Ledesma, E. F. (2018). Experiencia en la aplicación de estrategias mixtas en la enseñanza en ingeniería. En A. J. Argüelles Cruz, C. M. Vicario Solórzano y P. Gómez Miranda (Coords.), *Producción y apropiación de tecnología educativa en México* (pp. 47-68). IPN y Red LaTE México. <https://redlate.cudi.edu.mx/sites/default/files/2023-02/Producci%C3%B3n%20y%20producci%C3%B3n%20de%20tecnolog%C3%ADa%20educativa%20en%20M%C3%A9xico.pdf#page=47>
- Rico Jiménez, B. A., Garay Jiménez, L. I. y Ruiz Ledesma, E. F. (2018, julio-diciembre). Implementación del aprendizaje basado en proyectos como herramienta en asignaturas de ingeniería aplicada. *RIDE*, 9(17), 20-57. <https://doi.org/10.23913/ride.v9i17.372>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1155-1628>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Blanca-Rico-2>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=Og-dCXMAAAJ&hl=es>

Mónica Soledad RODRÍGUEZ RUVALCABA

Maestranda en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario por el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), y licenciada en Arquitectura por la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO). CVU del CONAHCYT: 1243800. Sus principales líneas de investigación son la vivienda, la habitabilidad y la arquitectura pedagógica.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5140-0532>

María Elena SERRANO FLORES

Doctora en Agroecología, Sociología y Desarrollo Sostenible por la Universidad de Córdoba (España), maestra en Ciencias en Desarrollo Rural por el Colegio de Posgraduados y licenciada en Sociología Rural por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Actualmente es profesora-investigadora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios en Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Es miembro del SNII (nivel I), de la Asociación Latinoamericana de Sociología (LASA) y de las redes de Desarrollo Económico y de Medio Ambiente, ambas del IPN. Sus principales líneas de investigación son la sociología rural, el desarrollo sustentable en el medio rural y la política ambiental y cultura rural. Sus últimas publicaciones son:

- Serrano Flores, M. E., Alfaro Martínez, C. y Vera Alejandre, R. (2022, julio-agosto). La Encrucijada, un ejemplo de conocimiento tradicional, producción y sustentabilidad. *Conversus*, (154), 22-25. https://drive.google.com/file/d/1F_oFPpdk_4Lfi2UFl2P5YmcIqnvEpO7l/view
- Heredia Telles, A., Pérez Verdín, G., Serrano Flores, M. E. y Ávila Meléndez, L. A. (2022, mayo-agosto). El enfoque de paisaje como base para la política forestal: El caso de México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 22(69), 367-395. <https://doi.org/10.22136/est20221758>
- Serrano Flores, M. E., Vera Alejandre, R. y Sánchez Núñez, J. M. (2022, marzo-abril). Sociedad y naturaleza en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Conversus*, (152), 26-29. <https://drive.google.com/file/d/1OcRlMQUL6ELWIWBMwnzoC4iPADndBIgN/view>
- Heredia Telles, A., Pérez Verdín, G., Serrano Flores, M. E., Ávila Meléndez, L. A. Durán, E. y Cruz García, F. (2021, otoño). Medio siglo de evolución en el manejo y conservación de los bosques comunitarios en el noroeste de México. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732300. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732300>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9759-3695>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55865696400>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Flores-3>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=pKILLZEA-AAAJ&hl=es>

Academia: <https://ipn.academia.edu/MariaElenaSerranoFlores>

María Myrna SOLÍS OBA

Doctora en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa (UAM-I); maestra en Administración Industrial por la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), e ingeniera química por la UAM. Actualmente es profesora titular C del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Es miembro del SNI (nivel II) y pertenece a la Red de Biotecnología del IPN. Sus líneas de investigación son el aprovechamiento de residuos agroindustriales, la producción y evaluación de fertilizantes orgánicos y la producción de energías alternativas (biogás). Ha colaborado en proyectos de la Red de Biotecnología titulados “Desarrollo y evaluación de abonos orgánicos, un biofertilizante y un bioprotector para la producción agrícola de hortaliza (lechuga), forraje (pasto) y cereal (maíz)” y “Evaluación de diferentes estrategias de fertilización orgánica en cultivos de interés alimentario: Impacto a nivel agronómico, calidad nutrimental y nutracéutica de los cultivos”. Actualmente colabora en el proyecto “Manejo sustentable para incrementar la producción y calidad nutrimental de cultivos estratégicos y de alto consumo: Hortalizas y gramíneas, fertilización orgánica, patógenos de mayor impacto y biocontrol” de esa misma red. Sus últimas publicaciones son:

- Solís Oba, M. M., Solís, A., Martínez Casares, R. M. y Delgado Flores, J. (2023). Application of microorganisms isolated from compost and digestate as biofertilizers to improve the growth of lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(2), 141-155. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2262527>
- Solís Oba, A., Solís Oba, M. M., Teniza García, O. y Martínez Casares, R. M. (2023). Propuesta para el aprovechamiento industrial del lactosuero. *Bio-ciencias*, 10, 1-17. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1392>
- Juárez Rangel, A. P., Solís Oba, A., Martínez Casares, R. M., Castro Rivera, R., Solís Oba, M. M. (2023). Producción de lechuga en invernadero fertilizada con extracto de sargazo o lixiviado de vermicomposta. *Mexican Journal of Biotechnology*, 8(1), 21-36. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2023.8.1.21>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9347-9599>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8373985300>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Myrna-Solis>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=UZtnz>

EIAAAAJ

Mayra Atalí TERÁN RAMÍREZ

Maestra en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas e ingeniera forestal. Actualmente cursa el doctorado en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (IPN). CVU del CONAHCYT: 710213. Sus principales líneas de investigación son la ciencia forestal y la administración de recursos naturales. Sus últimas publicaciones son:

- Terán Ramírez, M. A., López Cruz, J. Y. y Lugo Espinosa, G. (2023). Caracterización del proceso de beneficiado del café en San Juan Juquila Vijanos, Oaxaca y estrategias de aprovechamiento sostenible. En J. F. Sarmiento Franco (Coord.), *Nuevas territorialidades: Gestión de los territorios con inclusión, innovación social y sostenibilidad* (vol. 1; pp. 265-276). UNAM y AMECIDER. <https://ru.iiec.unam.mx/6071/1/VOLUMEN%20I%20AMECIDER%202023.pdf#page=266>
- Terán Ramírez, M. A., Rodríguez Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R. y Velasco Velasco, V. A. (2018, mayo-agosto). Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal en la Sierra Norte de Oaxaca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 217-226. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1444>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6439-2598>
ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Mayra-Teran-3>

Maribel VALDEZ MORALES

Doctora en Ciencias de los Alimentos y maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos, ambos por la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Actualmente está adscrita al Laboratorio de Alimentos Funcionales del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), unidad Sinaloa, del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Es miembro del SNI (nivel I), de la Red de Biotecnología del IPN, de la Red de Alimentos Funcionales y Nutraceuticos (AlFa-Nutra) y de la Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología (SOMUCAAB). Sus principales líneas de investigación son la valorización de subproductos agroindustriales para la alimentación humana y animal; el desarrollo de alimentos funcionales y productos nutraceuticos, y el análisis de metabolitos de interés biotecnológico. Ha sido directora de módulo del proyecto multidisciplinario del IPN con número 2263 "Aprovechamiento de subproductos agroindustriales mediante biorrefinería: Generación de ingredientes,

alimentos funcionales y bioplaguicidas agrícolas potenciales” y participante en eventos de divulgación de la Red de Biotecnología. También ha sido evaluadora de trabajos en los congresos de la Red ALFa-Nutra. Sus últimas publicaciones son:

- Aguayo Rojas, J., Mora Rochín, S., Tovar Jiménez, X., Navarro Cortez, R. O., Valdez Morales, M. y Ayala Luján, J. L. (2024, enero). Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y actividad antihipertensiva de membrillo (*Cydonia oblonga* Miller) cultivado en Zacatecas. *Polibotánica*, (57), 199-212. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.12>
- Perea Domínguez, X. P., Mendoza Espinoza, J. A., Solano González, J. M., Leyva Morales, J. B., Espinosa Alonso, L. G. y Valdez Morales, M. (2022, junio). Antioxidante and anti-proliferative activity of free, conjugates and bound phenolics from tomato and industrial tomato by-product. *Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 2361-2369. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05252-9>
- León Villanueva, A., Espinosa Alonso, L. G., Udenigwe, Ch. C., Valdez Morales, M., Valdez Ortiz, Á., Barba de la Rosa, A., P. y Medina Godoy, S. (2022, junio). Chemical and functional characterization of major protein fractions extracted from nontoxic *Jatropha curcas* byproduct meals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(6), 511-523. <https://doi.org/10.1002/aocs.12581>
- *Proceso para elaborar una tostada de maíz fortificada con subproducto del proceso de troceado mecánico industrial de chile jalapeño y el producto obtenido* [Título de patente 396983].

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6812-5905>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=13407985400>

Research Gate: <https://www.researchgate.net/profile/Maribel-Valdez-Morales>

Google Académico: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=chRy19cAAA&hl=es>

*La sociedad y el aprovechamiento
sustentable de los recursos naturales:*

Medio ambiente y Objetivos del Desarrollo

Sostenible, de Jacinto Elías Sedeño Díaz, Diana

Cecilia Escobedo Urías, Eugenia López López y

María Elena Tavera Cortés (eds.), publicado por Ediciones

Comunicación Científica, S. A. de C. V., se terminó de imprimir

en agosto de 2024 en los talleres de Litográfica Ingramex S.A. de C.V.,

Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México. El tiraje fue

de 50 ejemplares impresos y en versión digital para acceso abierto en los

formatos PDF, EPUB y HTML5.

Este libro integra trabajos de investigación presentados en el V Congreso Internacional de Medio Ambiente (CIMA 2023), el cual fue organizado por la Red de Medio Ambiente (REMA) del Instituto Politécnico Nacional. Los temas aquí vertidos abordan la contaminación de aguas superficiales por efectos antropogénicos, ya sea directamente por descargas de aguas residuales, deslaves o inundaciones, o bien como resultado del aprovechamiento de recursos naturales. La industria artesanal del café se aborda desde un punto de vista holístico, en tanto se persigue el aprovechamiento de todos los subproductos y el tratamiento de las aguas residuales resultantes. Asimismo, se analizan las ventajas de la fertilización mineral y orgánica en una variedad de frijol, observando las ventajas que ofrecen uno y otro tipo de fertilización en términos de la calidad nutritiva del producto. El libro ofrece también temas sobre educación ambiental en comunidades rurales. Un tema de suma importancia es el aprovechamiento de la energía fotovoltaica como fuente alterna en una comunidad, identificando limitaciones y oportunidades de este tipo de tecnología. Se presenta, de igual forma, la importancia de la tecnología móvil en el levantamiento de encuestas en zonas rurales donde la conexión a internet es nula. Finalmente, se aborda el tema del turismo regenerativo, el cual es una forma de integrar a los turistas a las comunidades, de modo que ambas partes contribuyen al cuidado del medio ambiente.



Jacinto Elías Sedeño Díaz es Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental, miembro de la Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad y de la Red de Medio Ambiente, ambas del IPN, y su principal línea de investigación es la construcción de índices de calidad del agua y teledetección.



Diana Cecilia Escobedo Urías es Doctora en Ciencias Marinas, profesora-investigadora del CIIDIR-Sinaloa del IPN, miembro del SNI (nivel II) y coordinadora de la REMA. Sus principales áreas de investigación son la eutrofización costera y la calidad del aire.



Eugenia López López es Doctora en Ecología, investigadora de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas y miembro de la Red de Medio Ambiente, ambas del IPN, es miembro del SNI (nivel III) y su principal línea de investigación es la salud de los ecosistemas acuáticos.



María Elena Tavera Cortés es Doctora en Socioeconomía Estadística e Informática, investigadora de la UPIICSA y miembro de la Red de Medio Ambiente, ambas del IPN, es miembro del SNI (nivel I) y sus principales líneas de investigación son el crecimiento económico, el desarrollo sustentable y el financiamiento.



ISBN-13: 978-607-9104-35-1



9 786079 104351



Dimensions



DOI.ORG/10.52501/CC.197