

GOBERNANZA, RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Hacia la transdisciplina

MARCELA VIRGINIA SANTANA JUÁREZ
SALVADOR ADAME MARTÍNEZ
GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA
LIDIA ALEJANDRA GONZÁLEZ BECERRIL
ISIDRO ROGEL FAJARDO

Coordinadores



Universidad Autónoma
del Estado de México





Doctora en Ciencias Sociales

Martha Patricia Zarza Delgado

Rectora de la Universidad Autónoma del Estado de México

Doctora en Ciencias Computacionales

Arianna Becerril García

Secretaria de Ciencia

Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Francisco Herrera Tapia

Secretario Académico

Doctora en Estudios Latinoamericanos

Cynthia Ortega Salgado

Secretaria de Identidad y Cultura

Doctor en Ciencias Sociales

Jorge Alejandro Vásquez Caicedo

Secretario de Gobernanza Universitaria

Doctora en Farmacia y Tecnología Farmacéutica

Mariana Ortiz Reynoso

*Secretaria de Vinculación, Extensión
y Promoción de la Empleabilidad*

Maestra en Administración

Miriam Liliana Padilla Mora

Secretaria de Gestión y Administración Universitaria

Maestra en Hacienda Pública

Miriam Sierra López

Secretaria de Finanzas

Doctora en Humanidades

María de las Mercedes Portilla Luja

Secretaria de Desarrollo y Fortalecimiento Institucional

Doctora en Geografía

Norma Baca Tavira

Secretaria de Igualdad Sustantiva y Cuidados

Doctor en Ciencias e Ingeniería de Materiales

José Guadalupe Miranda Hernández

*Secretario de Centros Universitarios
y Unidades Académicas Profesionales*

Maestrante en Derecho

Evangelina Sales Sánchez

Consejera Jurídica Universitaria

Doctora en Diseño

María Fernanda Valdés Figueroa

Directora General de Comunicación Social Universitaria

Doctor en Políticas Públicas

Bernardo Jorge Almaraz Calderón

Jefe de la Oficina de la Rectoría

GOBERNANZA,
RIESGOS Y
CAMBIO CLIMÁTICO
Hacia la transdisciplina

DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES UNIVERSITARIAS
Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México

Doctora en Ciencias Sociales
Martha Patricia Zarza Delgado
Rectora

Doctora en Estudios Latinoamericanos
Cynthia Ortega Salgado
Secretaria de Identidad y Cultura

Maestra en Diseño
Ixchel Edith Díaz Porras
*Encargada del despacho de la Dirección
de Publicaciones Universitarias*

GOBERNANZA,
RIESGOS Y
CAMBIO CLIMÁTICO
Hacia la transdisciplina

MARCELA VIRGINIA SANTANA JUÁREZ
SALVADOR ADAME MARTÍNEZ
GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA
LIDIA ALEJANDRA GONZÁLEZ BECERRIL
ISIDRO ROGEL FAJARDO
Coordinadores



Universidad Autónoma del Estado de México

*"2026, Conmemoración del ingreso de la científica y académica
Elena Cárdenas Guerrero al Instituto Científico y Literario"*

Este libro fue positivamente dictaminado con el aval de dos revisores externos, conforme al Reglamento de la Función Editorial de la UAEMEX, y fue sometido a un proceso de identificación de duplicidad de la información mediante un *software* especializado.

Primera edición, marzo 2026

GOBERNANZA, RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Hacia la transdisciplina

Marcela Virginia Santana Juárez

Salvador Adame Martínez

Giovanna Santana Castañeda

Lidia Alejandra González Becerril

Isidro Rogel Fajardo

Coordinadores

Universidad Autónoma del Estado de México

Av. Instituto Literario 100 Ote., Col. Centro

Toluca, Estado de México

C.P. 50000

Tel: 722 481 1800

<http://www.uaemex.mx>

Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt): 1800233



Esta obra está sujeta a una licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 4.0 Internacional. Los usuarios pueden descargar esta publicación y compartirla con otros, pero no están autorizados a modificar su contenido de ninguna manera ni a utilizarlo para fines comerciales. Disponible para su descarga en acceso abierto en: <http://ri.uaemex.mx>

ISBN: 978-968-9718-67-3

Hecho en México

El contenido de esta publicación es responsabilidad de las personas autoras.

Directora del equipo editorial: Ixchel Díaz Porras

Coordinación de diseño: Luis Alberto Maldonado Barraza

Corrección de estilo: María Lucina Ayala López

Formación: Mayra Flores Mercado

Diseño de portada: Martha Eugenia Díaz Cuenca



CONTENIDO

PRESENTACIÓN	9
Barra de Tecoanapa, Guerrero: comunidad pesquera entre la oportunidad y el riesgo de desarrollo social	13
<i>Guillermo Nochebuena Nochebuena</i>	
<i>Salvador Villerías Salinas</i>	
<i>Agustín Carlos Salgado Galarza</i>	
Fragmentación forestal y captura de carbono en el Parque Nacional El Tepeyac	33
<i>Santiago Juan Medina Silva</i>	
<i>Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo</i>	
<i>Miguel Ángel Balderas Plata</i>	
<i>J. Isabel Juan Pérez</i>	
El rol de Chilpancingo en el entramado territorial de la región Centro de Guerrero	59
<i>Nestali García Castro</i>	
<i>Pedro Vidal Tello Almaguer</i>	
<i>Yuridia Lozano Peñaloza</i>	
<i>Floriberto González González</i>	
Cambio de uso de suelo y variabilidad de precipitación y temperatura en la microcuenca La Compañía, México, 1952-2018	97
<i>Aurora Guadalupe Martínez Ponce</i>	
<i>Ricardo Manzano Solís</i>	
<i>Roberto Franco Plata</i>	
<i>Denise Soares Freitas</i>	

La geografía cultural de la ciudad de Toluca, un acercamiento a la cultura inmaterial desde una visión simbólica <i>Agustín Olmos Cruz</i>	131
Comunidad y circunscripción eclesial de la Parroquia de Nuestra Señora de los Desamparados en la ciudad de Toluca, 2023 <i>Yabel David Garduño Rayón</i> <i>Agustín Olmos Cruz</i>	149
Hacia una alternativa conceptual-metodológica para el estudio urbano-territorial de la ciudad de Chilpancingo <i>Gabriel Linares Ortiz</i> <i>Nestali García Castro</i>	171
Estructuración automatizada de datos de precipitación mensual (1961-2017) del Servicio Meteorológico Nacional para el Estado de México y análisis exploratorio de datos para su uso en modelos de aprendizaje automático <i>Luis Ricardo Manzano Solís</i> <i>Roberto Franco Plata</i> <i>Miguel Angel Gómez Albores</i> <i>Carlos Alberto Mastachi Loza</i>	189
Índice de sostenibilidad: evaluando los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la salud en el Estado de México <i>Giovanna Santana Castañeda</i> <i>Christian Iván Sánchez Carrillo</i>	219

PRESENTACIÓN

Esta obra presenta una serie de trabajos de investigación en los que se aborda la compleja relación entre la gobernanza, los riesgos ambientales y el cambio climático, los cuales son un reto para la sociedad actual, ya que influyen en el desarrollo sostenible.

El capítulo titulado *Barra de Tecoanapa, Guerrero: comunidad pesquera entre la oportunidad y el riesgo de desarrollo social* determina el grado de vulnerabilidad social comunitaria en el contexto municipal, el cual se midió a través de indicadores del Censo de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2020, así como de información *in situ* con muestreo por encuesta y entrevista a informantes clave. Se reporta que las condiciones socioeconómicas y naturales influyen en la vulnerabilidad social alta y muy alta de estas comunidades, debido a la precariedad de sus viviendas, actividades económicas de agricultura tradicional, así como por bajos ingresos monetarios.

El capítulo *Fragmentación forestal y captura de carbono en el Parque Nacional El Tepeyac* señala que la fragmentación se debe a causas naturales y antrópicas, sobre todo por tala clandestina, expansión agrícola y crecimiento urbano, lo que impacta en los servicios ecosistémicos de captura de carbono y recarga de acuíferos. El estudio se realizó a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) donde se identificaron las áreas más afectadas por este fenómeno. La metodología consiste en las siguientes etapas: 1) identificación y cuantificación del área ocupada por cada ecosistema forestal, mediante fotointerpretación cartográfica; 2) delimitación y ubicación espacial de cada tipo de ecosistema; 3) cálculo de la fragmentación de cada ecosistema forestal, y 4) cálculo y análisis de la captura de carbono con y sin fragmentación forestal. Los resultados se representan mediante cartografía de la fragmentación forestal y el análisis del proceso de captura de carbono con y sin fragmentación; se identificó que las zonas con menor densidad forestal coinciden con las áreas donde se desarrollan las principales actividades turísticas. Se concluye que este tipo de trabajos representan una importante contribución para la toma de decisiones sobre el mantenimiento y uso sustentable de los ecosistemas forestales.

En el capítulo *El rol de Chilpancingo en el entramado territorial de la región Centro de Guerrero* se analiza a la ciudad de Chilpancingo, la capital del estado de Guerrero, principal nodo político-administrativo de la entidad, en el contexto del desarrollo regional. El propósito es revisar algunas características de los asentamientos urbanos y el rol que desempeñan los municipios a nivel regional, en particular, la ciudad de Chilpancingo. Su medición se realizó con base en cinco indicadores para evaluar los rasgos del sistema urbano-regional a través de planteamientos de la geografía urbana y la geografía económica; se retomaron los aportes metodológicos de geógrafos españoles y mexicanos para determinar la morfología del sistema urbano. La interpretación conjunta de esos cinco indicadores se hizo mediante un Índice de consolidación urbano-regional, lo que permitió clasificar a los trece municipios que integran la región, apoyándose en su relevancia socioeconómica.

El capítulo *Cambio de uso de suelo y variabilidad de precipitación y temperatura en la microcuenca La Compañía, México, 1952-2018* analiza los elementos climáticos con la dinámica de los cambios de uso del suelo. El objetivo fue estudiar las tendencias anuales de elementos climáticos como la precipitación, temperatura mínima y máxima mensual de la microcuenca del río La Compañía en relación con superficies de cambio de uso de suelo. El análisis se realizó con la conformación de 804 ráster mensuales de superficies continuas y de su análisis a través de la prueba estadística Mann Kendall; además, se clasificaron imágenes de satélite de 1966 y 2018 y se estimaron los cambios entre las principales coberturas de estos años. Se concluye que una vez evaluados anual y estacionalmente 67 años de variables climáticas (precipitación, temperatura máxima y mínima) no se detectaron cambios en las tendencias anuales en la microcuenca del río La Compañía y que el análisis de cambio de uso de suelo demostró la recuperación de superficie de bosque.

El capítulo *La geografía cultural de la ciudad de Toluca, un acercamiento a la cultura inmaterial desde una visión simbólica*, desde la geografía cultural, se plantea como objetivo central describir la forma de organización cultural de la sociedad de Toluca, estableciendo la relación entre el paisaje natural y la parte inmaterial o simbólica, al observar un fragmento de la realidad cotidiana basada en tradiciones, costumbres y creencias que crean sentimientos de pertenencia e identidad. La metodología se apoya en la geografía y la etnografía; se analiza el territorio desde tres aspectos: el natural, el territorio equipado y el organizado. Se dice que la cultura inmaterial se vuelve un componente esencial para fortalecer las relaciones sociales y fomentar un sentido colectivo entre los habitantes.

Se concluye que la dimensión simbólica de la geografía cultural de la ciudad de Toluca contiene tradiciones, costumbres, hábitos y rituales que crean una forma de convivencia que proporciona funcionalidad y armonía entre sus habitantes.

En el capítulo *Comunidad y circunscripción eclesial de la Parroquia de Nuestra Señora de los Desamparados en la ciudad de Toluca, 2023* se explora el papel de la delimitación territorial de la Parroquia de Nuestra Señora de los Desamparados en Toluca, México, para determinar el número de fieles que integran su comunidad parroquial, ya que en la ciudad muchos asisten a parroquias diferentes a las que les correspondería. El propósito es analizar si la delimitación territorial afecta la composición de la comunidad parroquial, pues muchas personas son de otras comunidades parroquiales. La metodología consideró primero estimar el tamaño de la comunidad y segundo conocer su procedencia de acuerdo con la ubicación de su domicilio. Los resultados muestran que gran parte de los fieles asiste a dicha parroquia a pesar de que su domicilio no está dentro de su delimitación territorial. Se concluye que la delimitación territorial de la parroquia urbana de Nuestra Señora de los Desamparados hoy ya no es válida como criterio objetivo para definir a los feligreses que integran su comunidad parroquial, tal como lo indica el canon.

El capítulo *Hacia una alternativa conceptual-metodológica para el estudio urbano-territorial de la ciudad de Chilpancingo* aporta un marco de referencia para entender cuáles son los principales factores que desencadenan la degradación de los espacios céntricos, así como la fragmentación física y desigualdad social ocurrida en la ciudad de Chilpancingo. Su propósito es revisar las implicaciones conceptuales y metodológicas para el análisis territorial basado en la vulnerabilidad social, las periferias interiores y la segregación socioespacial. Para ello se revisaron teorías relacionadas con el urbanismo y se elaboró una nueva metodología, resultado de la revisión de literatura. Se concluye que las zonas céntricas se encarecen, por lo que la población con menor poder adquisitivo no puede acceder a ellas; así, se producen zonas exclusivas, lo que da lugar a la segregación socioespacial.

El capítulo *Estructuración automatizada de datos de precipitación mensual (1961-2017) del Servicio Meteorológico Nacional para el Estado de México y análisis exploratorio de datos para su uso en modelos de aprendizaje automático* señala que los datos meteorológicos que ofrece el sitio de internet del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) son históricos, pero el sistema de consulta no es flexible y presenta ciertos errores. El objetivo fue presentar de forma automatizada los datos mensuales

de precipitación del SMN, con el fin de facilitar el análisis exploratorio de datos (AED) y prepararlos para su uso en modelos de aprendizaje automático. Por lo anterior, primero se desarrolló un algoritmo en Python para la descarga y estructuración automatizada de datos de precipitación; enseguida, se aplicó un AED con Python sobre la base de datos estructurada, para luego interpolar los datos con modelos de aprendizaje automático y se evalúa su rendimiento. Entre los resultados se encuentra el diseño de un programa para descargar y estructurar datos de precipitación para el Estado de México, con cifras de 1877 a 2019. También, tras el AED se obtuvo una base de datos de precipitación mensual del Estado de México con una representación homogénea en espacio y tiempo (periodo 1961-2017), en la cual, además, se descartaron datos atípicos no validados. Por último, se generaron capas mensuales de SIG interpoladas con aprendizaje automático y se evalúa el rendimiento de los modelos usados. Se concluye que es necesario evaluar la calidad de los datos que ofrece el SMN y que la automatización mejora significativamente la gestión de datos climáticos.

Finalmente, el último capítulo *Índice de sostenibilidad: evaluando los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la salud en el Estado de México* hace referencia a la salud como un derecho humano fundamental; asimismo, presenta los indicadores específicos para medir y evaluar el avance hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por la Organización de las Naciones Unidas en 2020; así, de los 17 objetivos, se identifican 12 y 57 indicadores directamente relacionados con la salud. Este capítulo describe la propuesta y aplicación de un índice diseñado para evaluar algunos de estos indicadores a nivel municipal en el Estado de México. El proceso de construcción del índice conlleva, en primer lugar, la selección, obtención y estandarización de los datos; posteriormente, se lleva a cabo un análisis de distribución, correlación y agrupamiento de los indicadores, a fin de asignarles un peso relativo acorde con su relevancia para la consecución de cada objetivo. Para ello, se emplean metodologías multicriterio, como las jerarquías analíticas, la comparación por pares y la combinación lineal ponderada. Este índice constituye, por tanto, una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones informada y la generación de estrategias dirigidas a cumplir de manera integral con los ODS en materia de salud.

A manera de resumen, esta obra no sólo ofrece un análisis importante relacionado con los desafíos actuales, como el cambio climático, sino que también presenta un marco conceptual y metodológico aplicado a futuras investigaciones, así como un reporte de saberes locales y experiencias comunitarias.

BARRA DE TECOANAPA, GUERRERO: COMUNIDAD PESQUERA ENTRE LA OPORTUNIDAD Y EL RIESGO DE DESARROLLO SOCIAL

*Guillermo Nochebuena Nochebuena**

*Salvador Villerías Salinas**

*Agustín Carlos Salgado Galarza***

RESUMEN

Barra de Tecoanapa es una comunidad pesquera del municipio de Marquelia, Guerrero, México, cuyas características socioeconómicas y ecológicas la ubican entre la oportunidad de un desarrollo sostenible y riesgos de vulnerabilidad económica, sanitaria y ambiental. Se determina el grado de vulnerabilidad social comunitaria en el contexto municipal. Se usaron indicadores del Censo de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía y se aplicó un muestreo por encuesta y entrevista a informantes clave. Los datos se analizaron con estadística descriptiva y análisis multivariado de componentes principales, clúster jerárquico y regresión logística. La localidad se clasificó con vulnerabilidad media dentro del contexto municipal. Los ingresos, la condición de la vivienda y la carencia de servicios públicos determinaron el grado de vulnerabilidad de poco más de un tercio de la población local; además, la presencia de enfermedades crónicas no transmisibles incrementa sus niveles de vulnerabilidad. A pesar de que ésta se alimenta frecuentemente con productos de la pesca, el alto consumo de productos industrializados ha derivado en graves problemas de salud, sobre todo en mujeres y adultos mayores, lo que recrudece los riesgos de pérdida de bienestar de la población en esta localidad.

Palabras clave: Vulnerabilidad social, Desarrollo comunitario, Enfermedades crónicas no transmisibles.

* Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, Universidad Autónoma de Guerrero.

** Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Guerrero.

INTRODUCCIÓN

La pesca ribereña es aquella actividad productiva de corte extractivista que realizan diariamente personas, llamadas pescadores, en embarcaciones pequeñas, con baja inversión en tecnología y artes de pesca, reducidos niveles de procesamiento y venta local, además de un alto desinterés en la organización social productiva y de comercialización (Sánchez, 2022; Villerías, 2018). Este tipo de pesca se ha practicado en México desde la época precolonial con pequeñas embarcaciones y artes rudimentarias (Sánchez, 2022; Villalobos, 2019); en la actualidad estas comunidades están, en gran parte, constituidas por poblaciones originarias y mestizas (Marín, 2007), con reciente apropiación del suelo que por falta de propiedades para las actividades agropecuarias encontraron en la pesca una alternativa de desarrollo personal y familiar (Muñoz Sánchez, 2013).

La población dedicada a la pesca ribereña en México habita generalmente en localidades rurales con altos índices de pobreza, marginación, vulnerabilidad, sin garantía de derechos sociales y con carencia de dotación de servicios básicos (Inteligencia Pública, 2019). En principio, estas comunidades se establecen en sitios propicios para pesca por la necesidad de complementar sus requerimientos de alimentación familiar e ingresos económicos con pequeños excedentes para venta local, además de que esta actividad les trae beneficios en salud, bienestar familiar y vínculos relacionales con otros habitantes de la localidad (Canales-Gómez et al., 2022).

Díaz et al. (como se citó en Muñoz-Sánchez, 2013) mencionan que las comunidades de pesca artesanal dentro de las grandes ciudades y las del medio rural dedicadas a este tipo de pesca muestran identidades socioculturales y sociohistóricas que las distinguen de otras que realizan actividades agropecuarias, aun cuando gran parte de las mismas fueron formadas por población migrante de lugares interiores que buscaban medios y actividades de sobrevivencia y bienestar familiar ante la falta de oportunidades y propiedades en el medio rural (Muñoz-Sánchez, 2013).

Como todas las localidades rurales, las dedicadas a la pesca artesanal enfrentan problemas de desarrollo derivados de la fuerte presión social, política y económica que impone la inversión de capital en las diferentes zonas costeras de nuestro país, así como en otras partes del mundo (Ceballos y Ther, 2011). Por un lado, se encuentran los problemas de organización interna y degradación del medio ambiente que reducen sus volúmenes de pesca (Pérez et al., 2021) y, por el otro, las posibilidades de ubicar sus productos en mercados justos y a buen precio (Crespo y Rivera, 2017),

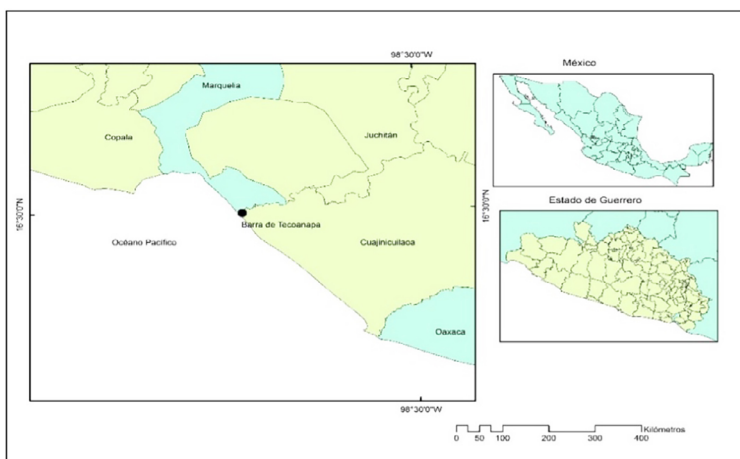
esto los lleva al círculo vicioso de pesca furtiva y sin control (Jiménez-Badillo, 2007), lo cual repercute en la obtención paulatina de bajos ingresos y niveles crecientes de vulnerabilidad y pobreza (Inteligencia Pública, 2019).

La situación actual de las localidades rurales dedicadas a la pesca artesanal es de alta vulnerabilidad; así, la falta de acceso a seguridad social y a servicios de salud impide a estos núcleos poblacionales enfrentar casos de emergencia y enfermedad (Inteligencia Pública, 2019), lo que sumado a los cambios de estilo de vida (OMS, 2003), debilitamiento de la cohesión social por efectos de modernización social, falta de apoyo institucional, deficiente organización y los efectos del cambio climático repercuten en sus condiciones básicas de desarrollo, bienestar social, resiliencia frente a fenómenos naturales y antropogénicos de riesgo y calidad de vida en general (Mc Goodwin, 2002).

ÁREA DE ESTUDIO

Barra de Tecoanapa se ubica entre los $98^{\circ}43'52''$ de longitud oeste y los $16^{\circ}30'31''$ de latitud norte. Pertenece al municipio de Marquelia en la región de Costa Chica del estado de Guerrero. Su polígono se extiende desde la ribera oeste del río Ometepec hasta aproximadamente 2.1 km sobre la costa del Pacífico (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio



Fuente: elaboración propia con información de INEGI (2020).

Esta comunidad tiene aproximadamente 1 195 habitantes y 333 viviendas particulares habitadas, en promedio 3.6 habitantes por vivienda; 70% de su población es de ascendencia afromexicana; su promedio escolar es de 7.2 grados, 14.6% de analfabetismo y 25.9% con estudios posbachillerato. Es importante destacar que cuenta con dependencias educativas de preescolar hasta licenciatura, pues una unidad de la Universidad Tecnológica del Mar se asienta en esta localidad. Por otra parte, 97% de las casas tiene energía eléctrica, 96% con agua que se extrae de pozos en la mayoría de las viviendas, y 91.9% cuenta con drenaje superficial, con descargas a la calle o al estero. Cada vivienda posee 3.6 ocupantes en promedio y 40% tiene un solo dormitorio (INEGI, 2020).

La principal actividad económica que realizan los pobladores es la pesca ribereña, la segunda en importancia es la agricultura y ganadería y, en tercer lugar, el comercio en misceláneas, venta de comida y transporte.

Entre los recursos naturales de importancia ambiental, social y económica con que cuenta se localiza un área de manglar sobre la ribera norte y noroeste del río Ometepec, la cual ha ido disminuyendo debido al uso indiscriminado de extracción de madera para energía y construcción, así como a cambios de uso del suelo sin control para vivienda.

METODOLOGÍA

El presente estudio inició con un análisis socioeconómico de las localidades del municipio de Marquelia que permitió ubicar a Barra de Tecoanapa en un contexto de vulnerabilidad social municipal. Para esto se utilizaron 10 indicadores socioeconómicos y de vivienda del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020).

Tabla 1. Indicadores socioeconómicos del municipio de Marquelia

<i>Indicador</i>	<i>Clave</i>	<i>Descripción</i>
Grado escolar promedio	GRAPROES	Grado de instrucción escolar promedio de la población
Analfabetismo	ANALF	Población de 15 años y más que no sabe leer ni escribir

Continúa...

<i>Indicador</i>	<i>Clave</i>	<i>Descripción</i>
Habla lengua indígena	HLI	Población de 3 años y más que sólo habla lengua indígena y no habla español
Vivienda con un cuarto	VICUART	Viviendas con hacinamiento
Vivienda con piso diferente de tierra	VPISODT	Viviendas con piso diferente de tierra
Vivienda con drenaje	VDREN	Viviendas sin acceso a red de drenaje público
Vivienda con automóvil	VAUTOM	Viviendas sin disposición de automóvil
Vivienda con lavadora	VLAVAD	Viviendas sin disposición de lavadora
Vivienda con celular	VCEL	Viviendas sin disposición a teléfono celular
Vivienda con PC	VPC	Viviendas sin disposición de computadora

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

De las 26 localidades, en 16 de ellas, con población mayor a 20 habitantes, se calculó el índice de vulnerabilidad con el uso de la técnica multivariada de componentes principales (CP). El propósito fue generar índices subyacentes por reducción de las variables originales que permitió conocer la estructura de vulnerabilidad social municipal. El primer componente principal se usó para representar al conjunto de datos que explican su comportamiento estructural por la captura de máxima varianza, de tal forma que del conjunto de CP ($Z_1 > Z_2 > Z_3 > \dots > Z_p$), el primero (Z_1) recoge la mayor cantidad de varianza, le sigue el segundo (Z_2), con la condición de que cada CP es una combinación lineal de las variables originales y sus autovalores:

$$Z_1 = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_pX_p$$

$$Z_2 = a_2X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_pX_p$$

.....

$$Z_p = a_nX_k + a_nX_k + a_nX_k + \dots + a_nX_k$$

Para la determinación de la vulnerabilidad en la localidad de Barra de Tecoanapa se aplicó un instrumento de encuesta para obtener información socioeconómica, de

vivienda, disponibilidad de servicios públicos, así como de bienes de uso doméstico y comunicación. Se calculó una muestra aleatoria simple representativa de viviendas con la siguiente fórmula:

Donde:

$$n = \frac{N * z^2 * (p)(q)}{e^2 (N - 1) + z^2 (p)(q)}$$

n = tamaño de la muestra

N = total de viviendas en la localidad

Z = Valor de confianza de estadístico (95%)

e = error de muestreo (0.1)

p = probabilidad de encontrar el valor esperado (0.5)

q = 1-p (0.5)

El número mínimo de encuestas calculado fue de 74 y se aplicaron 76; asimismo, se realizó una entrevista con pregunta abierta a informantes clave.

La vulnerabilidad social por vivienda en la localidad se generó con indicadores simples obtenidos por muestreo sobre grado escolar, analfabetismo, habla lengua indígena e ingresos por actividad económica; además, se generaron tres índices generales de vivienda.

Tabla 2. Indicadores de vivienda de Barra de Tecoanapa

<i>Indicador</i>	<i>Clave</i>	<i>Composición</i>	<i>Función</i>
Grado escolar promedio	GRAPROES	Único	Influye sobre la respuesta a eventos de riesgo
Analfabetismo	ANALF	Único	Valor negativo de respuesta frente a eventos de riesgo
Habla lengua indígena	HLI	Único	Influye sobre interpretación de información sobre riesgos, difundida en español

Continúa...

<i>Indicador</i>	<i>Clave</i>	<i>Composición</i>	<i>Función</i>
Déficit de vivienda	IDV	Piso Pared Techo	Indica condiciones de seguridad y vulnerabilidad familiar
Bienes domésticos	IBD	Refrigerador Estufa Lavadora	Indica niveles de bienestar e ingreso familiar
Bienes de comunicación	IBC	Automóvil PC/internet	Indica niveles de movilidad y accesos a información oportuna frente a riesgos

Fuente: elaboración propia.

A las variables que integraron cada índice se le asignó un peso ponderado de acuerdo con la importancia que los pobladores otorgaron a cada uno de ellos.

Tabla 3. Ponderación de indicadores compuestos de localidad

<i>Indicador</i>	<i>Componente</i>	<i>Ponderador %</i>		
		<i>50</i>	<i>30</i>	<i>20</i>
IDV	Piso	Loseta	Concreto	Tierra
	Pared	Aplanado	Obra negra	Bajareque
	Techo	Concreto	Teja/lámina	Desecho
IBD	Estufa	Gas	Gas/leña	Leña
	Refrigerador	Refrigerador	Congelador	Ninguno
	Lavadora	Tiene		No tiene
IBC	Automóvil	Privado	Trabajo	Ninguno
	PC/internet	Ambos	Uno	Ninguno

Fuente: elaboración propia.

La clasificación de vulnerabilidad social de la localidad se realizó con el uso de aglomeración jerarquizada (*clustering*), con el método de distancia euclidiana y agrupamiento de menor distancia interna y entre grupos o método de Ward (Rencher, 2002; Thomas, 2013).

Para el aspecto de salud, se analizaron los expedientes clínicos de los usuarios del Centro de Salud Local (CSL) de los Servicios Estatales de Salud (SES), los cuales fueron analizados con estadística descriptiva y probabilidad de ocurrencia para el caso de enfermedades crónicas no transmisibles con regresión logística (Weisberg, 2005).

RESULTADOS

El municipio de Marquelia se clasifica con vulnerabilidad social media a nivel estatal. Al interior de éste, las localidades de Marquelia (cabecera municipal), así como Tortuga y Arenilla, que se encuentran en la zona de playa con alto valor residencial y de turismo alternativo, clasificaron con baja y muy baja vulnerabilidad. Barra de Tecoanapa y Las Peñitas, vecinas sobre el litoral del Pacífico, mostraron vulnerabilidad social media, y las localidades alejadas de la zona de playa, como Zapote, Capulín Chocolate, Zoyatlán, Cruz Verde, El Palmar y Barrio el Panteón registraron alta y muy alta vulnerabilidad.

Tabla 4. Vulnerabilidad social por localidad

<i>Localidad</i>	<i>Índice</i>	<i>Grado</i>
La Arenilla	-6.19200421	Muy Baja
Playa Tortuga	-3.97876244	Muy Baja
Marquelia	-2.49740832	Baja
Col. Polvorín	-1.0838986	Media
Las Peñitas	-0.95250346	Media
Barra Tecoanapa	-0.81041068	Media
Guadalupe	-0.54426431	Media
Tepantitlán	-0.39993841	Media
La Bocana	-0.21171969	Media

Continúa...

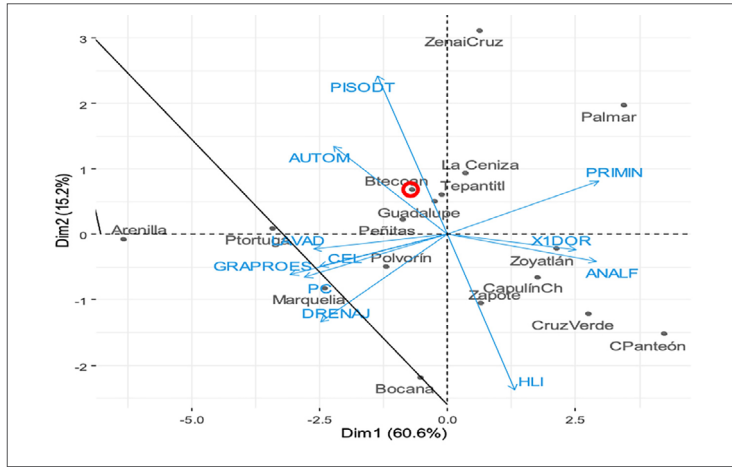
<i>Localidad</i>	<i>Índice</i>	<i>Grado</i>
La Ceniza	-0.04307746	Media
Zenaido Cruz	0.75773484	Media
El Zapote	0.9791011	Alta
Capulín Chocolate	1.49427784	Alta
Zoyatlán	1.70681742	Alta
Cruz Verde	2.5005558	Alta
El Palmar	3.56136682	Muy Alta
Col. Panteón	5.71413377	Muy Alta

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020) y software R v 4.2.1.

Los indicadores que más influyeron en el índice alto y muy alto de vulnerabilidad social municipal fueron el déficit educativo (analfabetismo, primaria incompleta), hablar una lengua indígena y viviendas con hacinamiento. Esto mismo se reflejó en las condiciones precarias de vivienda (piso diferente de tierra y drenaje), posesión de bienes de uso y comunicación, como automóvil, lavadora, celular y computadora personal, principalmente.

Contar con mayor grado escolar, drenaje en la vivienda y poseer computadora personal, teléfono celular, automóvil y lavadora influyó para clasificar tres localidades con baja y muy baja vulnerabilidad social en el ámbito municipal. Así, en el contexto municipal la localidad pesquera de Barra de Tecoanapa mostró condiciones de vulnerabilidad social media (Figura 2).

Figura 2. Vulnerabilidad social municipal

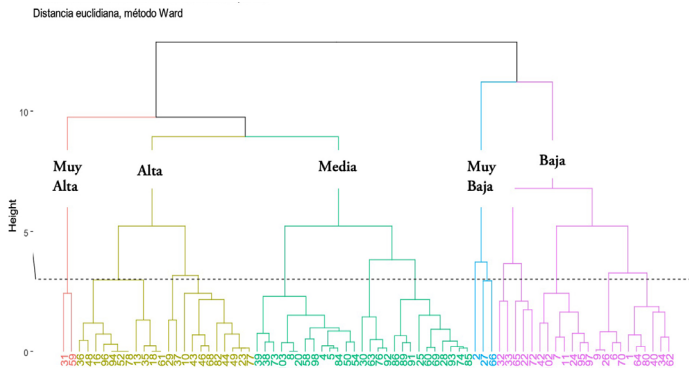


Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020) y software R v 4.2.1.

VULNERABILIDAD EN LA LOCALIDAD PESQUERA

En Barra de Tecoanapa se identificó que 31.6% de los hogares se encontraba en condición de alta y muy alta vulnerabilidad social, otro 35.5% clasificó con vulnerabilidad media, 29.0% con baja y 4% con muy baja.

Figura 3. Vulnerabilidad social en viviendas de Barra de Tecoanapa



Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020) y software R v 4.2.1

Los indicadores más influyentes en esta condición fueron el ingreso y las condiciones de la vivienda.

Grado escolar

Es destacable mencionar que el grado escolar no mostró correlación lineal significativa con el ingreso, pues incluso jefes de familia con bajo o nulo grado de instrucción declararon percibir altos ingresos obtenidos, principalmente, de actividades de comercio. Por el contrario, este indicador sí mostró relación con mejores condiciones de vivienda, como pisos diferentes de tierra y piso de concreto con terminado y loseta.

Vivienda

En general, la mayoría de las viviendas son de paredes y techo de concreto; en algunos casos tienen techos de lámina y pocas con piso de tierra. Los indicadores de vivienda que más afectaron la vulnerabilidad fueron los pisos de tierra y piso firme sin loseta, así como techos y paredes diferentes a concreto. En cuanto a bienes de uso doméstico y comunicación los que más afectaron fueron los fogones de leña, sin refrigerador o lavadora; y en bienes de comunicación lo que más perjudicó fue no contar con teléfono celular, ya que muy pocos hogares poseen computadora personal y, menos aún, internet.

Dotación de servicios públicos

No obstante que el INEGI (2020) reporta más de 90% de dotación de servicios públicos como electricidad, agua entubada y drenaje, en realidad sólo el primer servicio cumple con la cobertura señalada. El agua entubada y drenaje son prácticamente inexistentes como infraestructura institucional, por lo que la población resuelve estos problemas con pozos artesanos y descargas a la vía pública o letrinas. En el caso de la basura, no cuentan con servicio regular de recolección; por lo tanto, se quema, se acumula en tiraderos clandestinos o bien se deja en la vía pública.

Actividad económica

La pesca ribereña, principal actividad económica, se realiza con aproximadamente 240 pequeñas unidades con motor fuera de borda (lanchas) y la instalación semifija de redes en línea (trasmallo). Este tipo de captura “garantiza” que la mayoría de los pescadores obtengan alguna cantidad diaria de producto con una inversión de cuatro a cinco horas de recolección y revisión en redes. El producto de la pesca diaria se vende a pie de embarcación con compradores que determinan, con criterios discrecionales propios, la calidad del producto, lo que les permite mantener o bajar el precio en detrimento de la ganancia de los pescadores, y que luego comercializan a mejor precio en el mercado municipal de Marquelia, algunos restaurantes locales y en el puerto de Acapulco.

La ganadería y la agricultura con la siembra de maíz y frutales son también actividades importantes que realizan generalmente personas mayores que no cuentan con medios para la pesca, o que alguna vez se dedicaron a ésta, pero que por la edad ya no pueden seguir y dejan a sus hijos esta actividad. En tercer lugar, se encuentran las actividades de comercio en tiendas, misceláneas y transporte, y finalmente, el turismo alternativo de playa, actividad con potencial que no ha sido debidamente atendida, la cual sólo se hace en pequeña escala con la venta de comida y con algunos intentos fallidos de hotelería.

Ingresos

El tipo de pesca practicado en esta localidad se puede considerar como el área de oportunidad para un desarrollo individual, familiar e incluso comunitario, ya que esta actividad productiva mostró ingresos muy altos, altos y medios en los dueños de las embarcaciones; no obstante, para los ayudantes de pesca los ingresos fueron medios-bajos y bajos, ya que reciben, además del salario por jornada que está sujeto a la cantidad capturada por día, el pago en especie con pescado para la alimentación de sus familias y que en muchos casos no alcanza para adquirir una canasta básica (Inteligencia Pública, 2019). Los casos de mayor ingreso (viviendas 3, 27 y 66) mostraron ser muy similares con actividad económica de pesca; por el contrario, los hogares con muy alta vulnerabilidad (viviendas 31 y 59) fueron muy similares

en actividades de agricultura. Las actividades de comercio, como venta de comida, misceláneas y choferes de transporte colectivo se encuentran en los ingresos altos, medios-altos y medios.

Impacto del tipo de pesca en el ambiente

Es importante mencionar que el tipo de pesca que se practica en esta localidad, en opinión de los propios pobladores, tiene un alto costo ecológico, ya que las redes de trasmallo que se pierden o se abandonan sobre las rocas generan grandes daños a los ecosistemas marinos; entre éstos mencionan la “pesca fantasma” y destrucción de arrecifes y corales. Esto mismo les ha creado fuertes problemas de confrontación con otras localidades pesqueras vecinas que utilizan métodos de pesca más apropiados para evitar la destrucción del ambiente marino y la sobreexplotación de especies.

Presencia de enfermedades crónicas no trasmisibles

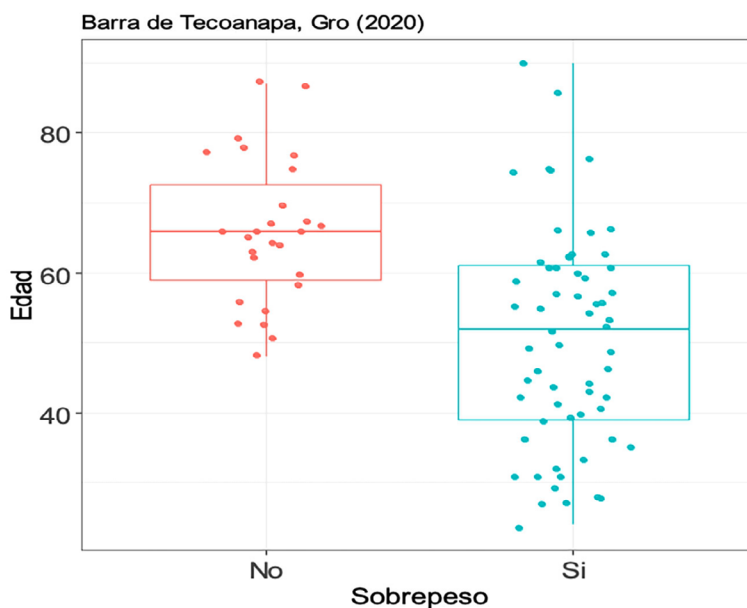
En opinión de los responsables de CSL, en esta localidad pesquera, no obstante que la mayor parte de su población consume casi a diario, y al menos una vez al día, pescado en sus alimentos, la diabetes, el sobrepeso, la obesidad y la hipertensión como enfermedades crónicas no trasmisibles (ECNT) son un grave problema que se manifiesta como consecuencia de cambios drásticos en la sustitución de alimentos y prácticas de alimentación locales saludables por el consumo de productos con alto contenido calórico, almidones procesados y grasas saturadas, así como por la adopción personal de estilos de vida y patrones de comportamiento comunes de esta población por influencia de la propaganda comercial y los conceptos de bienestar, moldeados por el modelo capitalista actual y difundidos masivamente por los medios de comunicación.

Los problemas de salud más comunes en la población mayor de 18 años que se detectaron en el CSL durante 2020 fueron las ECNT. De estos padecimientos, 74 fueron casos de obesidad (81.3%), de los cuales 33 clasificaron como sobrepeso, 31 con obesidad grado 1 (G1), otros 12 con obesidad G2 y 5 con obesidad G3. El

segundo problema de ECNT fue la hipertensión, con 56 casos (69.1%), y el tercero fue la diabetes con 34 casos (42%); desde luego, considerando las comorbilidades combinadas de estos padecimientos. Es importante destacar que más de 70% de la población usuaria de los servicios del centro de salud local fueron mujeres y en menor proporción, hombres mayores de 50 años.

El problema más común en esta localidad pesquera, que se erige como un grave riesgo, es el sobrepeso y la obesidad (Figura 4), el cual inicia en la juventud temprana (21 años) y se concentra en la población de 40 a 60 años, lo que se refleja consecuentemente en registros elevados de circunferencia de la cintura (cc), relación talla: cc e índice de masa corporal (IMC).

Figura 4. Sobrepeso por grupo de edad



Fuente: elaboración propia con información de CSL (2020) y software R v 4.2.1.

El segundo problema en importancia relativa fue la hipertensión, que empieza a manifestarse clínicamente alrededor de los 40 años de edad y se recrudece entre los 50 a 65 años (Figura 5. Hipertensión).

Finalmente, el tercer padecimiento en importancia relativa por presencia, pero probablemente el de mayor impacto a la salud y bienestar de los afectados es la diabetes, que se detecta inicialmente entre los 45 y 50 años y posteriormente se incrementa en población de 60 a 70 años (Figura 5. Diabetes). Es importante destacar, según opinión de los responsables del CSL, que este último padecimiento posiblemente encare un subregistro dada la renuencia de los hombres menores de 50 años para asistir de manera regular a consulta y valoración periódica de salud.

Figura 5. Enfermedades crónicas no trasmisibles por grupo de edad



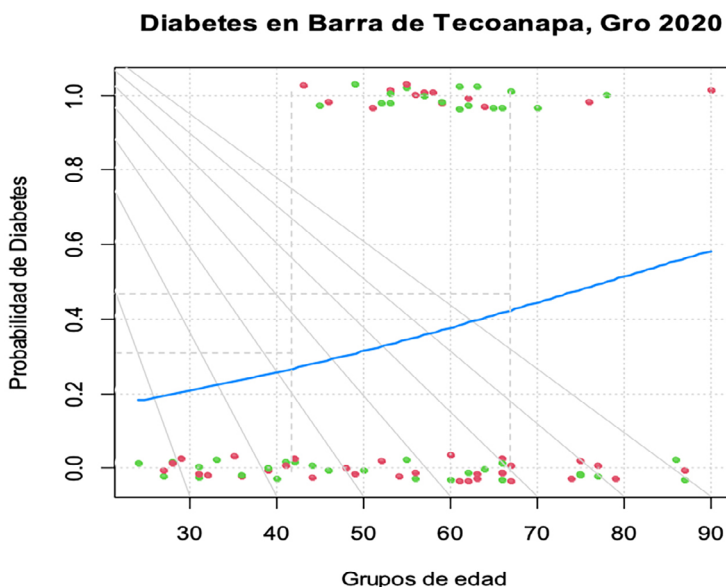
Fuente: elaboración propia con información de CSL (2020) y software R v 4.2.1.

No obstante, la distribución de edades en los registros de usuarios proporcionados por el CSL, se considera que la probabilidad de adquirir diabetes en la población de la localidad se incrementa desde 21% en la edad de 30 años hasta poco más de 40% en personas de 65 y más años. Asimismo, es importante hacer notar que el problema se puede detectar en adultos jóvenes entre 40 a 45 años y con mayor frecuencia en mujeres (Figura 6).

Es necesario mencionar, según los responsables del CSL, que los afectados por las ECNT no siguen un esquema de control regular ni las recomendaciones de los

profesionales de la salud, en muchos casos por el alto costo de los medicamentos, en otros por su reticencia al cambio de hábitos alimenticios, pues hay consumo frecuente de refrescos y jugos industrializados con alto contenido de azúcar y sodio, y a la reducida actividad física en personas mayores de 50 años que se manifiesta posteriormente en otras afectaciones orgánicas, discapacidad y muerte.

Figura 6. Probabilidad de adquirir diabetes por grupo de edad



Fuente: elaboración propia con información de CSL (2020) y software R v 4.2.1.

CONCLUSIONES

En el contexto municipal, Barra de Tecoanapa es una localidad pesquera con vulnerabilidad social media por dotación de servicios públicos, condiciones de vivienda e ingresos de la actividad económica de la pesca ribereña. Dentro de la localidad, poco menos de un tercio de la población mostró alta y muy alta vulnerabilidad, explicada por las condiciones precarias de vivienda, actividades económicas de agricultura tradicional, así como por bajos ingresos monetarios y en especie para los ayudantes de pesca.

En general, el ingreso promedio de la población, si además se toman en cuenta las transferencias de programas públicos gubernamentales y los pagos en especie, se encuentra por arriba de la media a nivel municipal, lo que representa una oportunidad de bienestar familiar y desarrollo social equilibrado. Para el caso de los dueños de las embarcaciones y los dedicados al comercio formal (tiendas y misceláneas), así como dueños de transporte público que obtienen los mayores ingresos, les permite mostrar menores condiciones de vulnerabilidad. Sin embargo, la población enfrenta riesgos sanitarios al no contar con sistemas públicos de dotación de agua entubada, drenaje y recolección frecuente de basura. La localidad presenta un grave riesgo por el drenaje superficial con descargas a la calle y al estero, lo cual causa contaminación, así como por la basura que se quema o se acumula en tiraderos clandestinos.

Adicionalmente, como consecuencia de los cambios en costumbres y estilos de vida que fomentan el consumo de productos con alto contenido de azúcares, carbohidratos ultraprocesados, grasas saturadas y alcohol, esta población presenta una alta presencia de enfermedades crónicas no transmisibles que afectan su calidad de vida, con riesgos de invalidez y muerte, sobre todo para las personas mayores, lo que coincide con lo encontrado por Bravo y Nochebuena (2011). En este aspecto, como mencionan los responsables del CSL, es posible que la presencia de estas enfermedades sea aún más alta, pues los hombres en edad de trabajar no acostumbran a llevar un seguimiento periódico de su estado de salud, lo cual se inscribe dentro de lo que Cabieses et al. (2016) describen como conductas sociales masculinas que conciben al cuerpo como “instrumento de trabajo”, el cual debe hacerse trabajar “hasta que el cuerpo aguante”, pues el control de salud es un “asunto de mujeres” (p. 145).

Las posibilidades de vida sana y bienestar de la población de Barra de Tecoanapa se encuentran al alcance de su mano, ya que pueden disponer para su alimentación, prácticamente todos los días, de productos de la pesca y agropecuarios; sin embargo, la modificación de costumbres de alimentación sana y la adopción de nuevos estilos de vida promovidos por la publicidad y la mercadotecnia, difundida por medios de comunicación masiva, ha generado problemas de salud, contaminación y degradación de recursos naturales y ecosistemas costeros de gran importancia para esta localidad y la región.

REFERENCIAS

- Bravo, V. D. y Nochebuena N. G. (2011). Diagnóstico socioeconómico y de salud de cuatro comunidades indígenas del municipio de Huautla: un sustento para la vinculación de la carrera de Enfermería del CECyTEH. *Enfermería Actual en Costa Rica*, (20), abril-septiembre.
- Cabieses, B., Bernaldes, M., Obach, A. y Pedrero, V. (2016). *Vulnerabilidad social y su efecto en salud en Chile. Desde la comprensión del fenómeno hacia la implementación de soluciones*. Universidad del Desarrollo-Organización Panamericana de la Salud. <https://medicina.udd.cl/files/2016/03/Libro-Completo-2016.pdf>
- Canales-Gómez, E., Díaz-Gómez, R., Cervantes-Ríos, J. y Téllez-López, J. (2022). Mapeo y amenazas de los servicios ecosistémicos culturales de la pesca artesanal para el desarrollo regional en una subcuenca antropizada del occidente de México. *EURE*, 48 (143), 1-26.
- Ceballos, C. M. y Ther R., F. (2011). Transformaciones en las economías pesqueras artesanales contemporáneas: el caso de las localidades Cucao y Tenaúm (Provincia de Chiloé, Región de los Lagos, Chile). Cuadernos de Geografía. *Revista Colombiana de Geografía*. 20(2), julio-diciembre.
- Crespo G., J. M. y Rivera M., G (2017). Organización y transformaciones de la pesca comercial ribereña en el Parque Nacional Bahía de Loreto (Baja California Sur, México). *Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, (17), 59-96.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por localidad. Guerrero*. <https://www.inegi.org.mx/datosabiertos/>
- Inteligencia Pública. (2019). *Impacto social de la pesca ribereña en México: propuestas para impulsar el bienestar social en el sector pesquero*. EDF de México.
- Jiménez-Badillo, M. L. y Castro G., L. G. (2007). Pesca artesanal en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. En A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas y J. M. Vargas Hernández (Eds.). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. UACamp, pp. 221-234.
- Mc Goodwin, J. R. (2002). Características culturales de las comunidades pesqueras en pequeña escala. En *Comprender las culturas de las comunidades pesqueras. Clave para la ordenación pesquera y la seguridad alimentaria*. FAO Documento técnico de pesca 401. <https://www.fao.org/3/y1290s/y1290s.pdf>

- Marín, G. G. (2007). Pesca artesanal, comunidad y administración de recursos pesqueros. Experiencias en las costas de Michoacán, México. *Gazeta de Antropología*, (23), artículo 20.
- Muñoz- Sánchez, P. (2013). Identidades y tendencias migratorias desde la pesca en Chiapas y Tabasco. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, (63), 231-257.
- Organización Mundial de la Salud. (2003). *Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas: Informe de una consulta mixta de expertos OMS/FAO*. Informe técnico núm. 916. <https://www.fao.org/3/ac911s/ac911s.pdf>
- Pérez-Ríos, F., Mungaray-Lagarda, A., Flores-Anaya, Y. Z. y Velázquez-Contreras, L. E. (2021). Ineficiencia bioeconómica en la pesca artesanal mexicana. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 31(58).
- Sánchez B., J. E. (2022). *La cultura de la pesca ribereña en el embarcadero en Isla de la Piedra Gabriel Leyva, Mazatlán, Sinaloa*. [Tesis de Maestría]. Colegio de San Luis A. C.
- Thomas B., J. E. (2013). Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía, unam, (81), 79-93.
- Villalobos E., C. E. (2019). Desarrollo histórico de la cultura y pesca prehispánica en Sinaloa. *Sapientae*, vol. 5(1), 58-86.
- Villerías, S. S. (2018). *Recursos naturales, sociedad y actividades pesqueras. Costa Grande de Guerrero*. Porrúa.
- Rencher, C. A. (2002). *Methods of multivariate analysis*. Second edition. Wiley-Interscience.
- Weisberg, S. (2005). *Applied linear regression*. Third edition. Wiley-Interscience.

FRAGMENTACIÓN FORESTAL Y CAPTURA DE CARBONO EN EL PARQUE NACIONAL EL TEPEYAC

*Santiago Juan Medina Silva**
*Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo***
*Miguel Ángel Balderas Plata****
*J. Isabel Juan Pérez*****

RESUMEN

El Parque Nacional El Tepeyac presenta diversos impactos ambientales, como pérdida de los ecosistemas forestales, derivados de actividades turísticas y apertura de nuevas zonas habitacionales y de comercio, por lo que se analizan los niveles de fragmentación forestal y se cuantifica el proceso de captura de carbono. La metodología utilizada permitió identificar y cuantificar el área ocupada por cada ecosistema forestal, mediante fotointerpretación cartográfica, así como delimitar y ubicar espacialmente cada tipo de ecosistema. En la cartografía se representa el grado de fragmentación forestal dividido en cinco rangos Likert; los mapas generados muestran las áreas prioritarias de atención, lo cual permite un acercamiento para cuantificar y analizar la captura de carbono en el área de estudio. Los resultados consisten en la representación cartográfica de la fragmentación forestal y el análisis del proceso de captura de carbono con y sin fragmentación; se identificó que las zonas con menor densidad forestal coinciden con las áreas donde se desarrollan las principales actividades turísticas. Se concluye que los trabajos relacionados con la fragmentación forestal y captura de carbono representan una importante contribución para tomar decisiones sobre el mantenimiento y uso sustentable de los ecosistemas forestales.

Palabras clave: Captura de carbono, Distribución espacial, Fragmentación forestal, Parque Nacional El Tepeyac.

* Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, santi040695@gmail.com

** Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, jggc1321@yahoo.com.mx

*** Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, mabalderasp@uaemex.mx

**** Centro de Investigación Multidisciplinaria en Educación, Universidad Autónoma del Estado de México, jupi582602@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Existen diversas causas que propician la fragmentación en la cobertura forestal, algunas son de carácter natural y otras de tipo antrópico. Entre las primeras se encuentran plagas, enfermedades y desastres naturales, como deslaves y deslizamientos. Las segundas incluyen la deforestación, ya sea por tala clandestina, incremento de la frontera agrícola, aumento en zonas urbanas o la instalación de infraestructura para proyectos económicos.

En el Parque Nacional El Tepeyac el deterioro y degradación ambiental de los ecosistemas forestales va en aumento, a consecuencia de la mancha urbana del municipio de Tlalnepantla de Baz en el Estado de México, y principalmente de la Delegación Gustavo A. Madero en la Ciudad de México, repercutiendo directa e indirectamente en otros servicios ecosistémicos, como la captura de carbono, la recarga de acuíferos y la retención del suelo. Dentro de la problemática del cambio de uso de suelo existen proyectos económicos que han contribuido a que existan áreas con niveles altos de fragmentación forestal dentro de la zona, como las concesiones para restaurantes, tiendas y puestos de comercio con vigencia indefinida (Vargas, 1984).

Por otra parte, en el parque se presentan invasiones de predio, vandalismo, acumulación de desechos, litigios, pastoreo con ganado ovino y vacuno en áreas forestales; asimismo, se presenta la incidencia de plagas e incendios forestales, estos últimos provocados principalmente por los visitantes y lugareños con el fin de propiciar el desarrollo de gramíneas. También existen diversas veredas debido al paso incontrolado de visitantes, tanto a la capilla como a los centros recreativos, ya que no existen puntos de acceso controlado, razón por la cual no se cuenta con las restricciones necesarias para mediar la entrada.

En este sentido, es de gran importancia ubicar mediante cartografía detallada las zonas que presentan los niveles de fragmentación más altos en el área de estudio, lo que contribuirá a que existan herramientas para la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales del parque y para la recuperación de estos espacios naturales (Conabio, 2016). Con base en lo anterior, fue necesario analizar, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), los niveles de fragmentación forestal presentes en el parque, identificando con mayor precisión las zonas prioritarias de atención, sin dejar de lado la confiabilidad de los datos (Mas et al., 2003).

ANTECEDENTES

Los Parques Nacionales conforman el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de la naturaleza; sin embargo, bajo este contexto jurídico-administrativo, el Parque Nacional El Tepeyac fue decretado el 18 de febrero de 1937, cuenta con una superficie de 259 ha. Está formado por una pequeña cordillera al sureste de la Sierra, integrada por los cerros Zacatenco, Vicente Guerrero, Gachupines y Tepeyac, con una altitud de 2 250 a 2 500 msnm, y dividida por avenidas y calles que conectan a zonas habitacionales (Conanp, 2008).

En este parque se realizan actividades paralelas al turismo, como la venta de artesanías, antojitos mexicanos, pulque y otras bebidas. Uno de los problemas sociales más agudos del parque nacional es la inseguridad. La vigilancia que realiza la policía y el patrullaje perimetral resultan insuficientes, por lo que este lugar no ofrece las garantías de seguridad para ser visitado por un número importante de ciudadanos. Sus recursos naturales se encuentran en un estado de amenaza y deterioro.

Las pocas acciones en favor de la restauración de la masa forestal son mal ejecutadas, ya que reforestan con especies de eucalipto y pirul, las cuales provocan el crecimiento limitado de otras especies arbóreas y arbustivas endémicas de la zona. Este hecho ocasiona una baja sensible de la biodiversidad del parque y confiere al paisaje un aspecto poco atractivo. La vegetación se encuentra en una proporción significativa plagada o enferma y el suelo tiene niveles considerables de erosión, lo que frena al desarrollo de vegetación. En este sentido, es de gran importancia estudiar y ubicar, mediante cartografía detallada, las zonas que presentan los niveles de fragmentación más altos en el área de estudio, lo que contribuirá a que existan herramientas para la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales del parque y para la recuperación de estos espacios (Conabio, 2018).

Con base en lo descrito previamente, fue necesario analizar, mediante SIG, los niveles de fragmentación forestal presentes en el parque, identificando con mayor precisión las zonas prioritarias de atención, sin dejar de lado la confiabilidad de los datos (Mas et al., 2003).

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Los componentes teórico-metodológicos de esta investigación se establecen a partir de la perspectiva holística e integradora de la Teoría General de Sistemas (TGS) de Bertalanffy (1976), quien menciona que la teoría representa un esfuerzo de estudio interdisciplinario que trata de encontrar las propiedades comunes a entidades, los sistemas que se presentan en todos los niveles de la realidad, pero que son objeto de disciplinas académicas diferentes. Dentro de la TGS se debe constituir un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales, que al mismo tiempo sean un instrumento básico para la formación y preparación de científicos. El análisis mediante sistemas permite estudiar fenómenos de distinta complejidad, desde el funcionamiento de una célula hasta el planeta Tierra.

Retomando los principios de la TGS y las características de las Ciencias Ambientales (CA) como una ciencia integradora, ambas contribuciones científicas consideran que los estudios holísticos e integradores parten del estudio sobre las relaciones que existen entre los componentes que conforman la realidad (grupos humanos y ecosistemas) y las problemáticas que se derivan de dicha relación, dando paso a una serie de marcos integradores que ofrecen soluciones urgentes a los problemas ambientales actuales (Leff, 2011).

Se pretende analizar y describir las relaciones existentes entre el medio natural y social presentes en el Parque Nacional El Tepeyac, desde las perspectivas de la TGS y las CA.

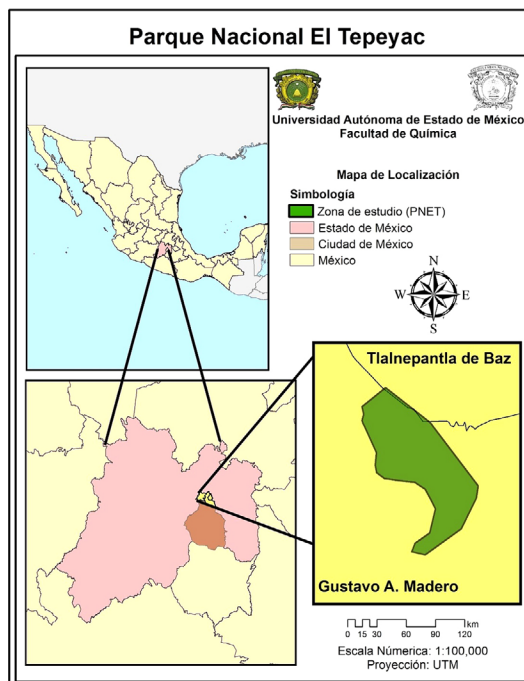
MÉTODOS

Área de estudio

En la Figura 1 se observa el Parque Nacional El Tepeyac (PNET), ubicado la mayor parte de su territorio en la Ciudad de México, en la delegación política Gustavo A. Madero (95%), y la porción noroeste se encuentra en el municipio de Tlalnepantla (5%) (INEGI, 2022). Este Parque fue decretado el 18 de febrero de 1937, cuenta con una superficie de 259 ha y está formado por una pequeña cordillera al sureste de la

Sierra, integrada por los cerros Zacatenco, Vicente Guerrero, Gachupines y Tepeyac; su altitud es de 2 250 y 2 500 msnm (Vargas, 1984).

Figura 1. Localización del Parque Nacional El Tepeyac en el contexto geográfico



Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2015).

Los materiales utilizados para la elaboración del análisis espacial de los niveles de fragmentación en los ecosistemas forestales para 2022 fueron una imagen y datos vectoriales. La imagen de satélite de los sensores Spot 5 con fecha de 26 de febrero de 2022 fue descargada del servidor digital Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) 2022. Para la edición cartográfica se obtuvieron datos vectoriales de la plataforma digital del INEGI (2022).

Las etapas para identificar los niveles de fragmentación forestal en los bosques del parque consistieron en preclasificación, clasificación de imágenes de satélite, validación de la cartografía, análisis de la fragmentación y cálculo de la captura de carbono.

1. Preclasificación

Se tomaron en cuenta factores climatológicos al elegir la fecha de descarga de las imágenes, ya que Rejas (2008) considera que la atmósfera cambia de una fecha a otra, por lo que es necesario corregir los valores de las radiancias registrados por el sensor. De igual forma, la atmósfera puede afectar las características de la imagen aparente del objeto, como la longitud de onda, reflectividad de la superficie y variabilidad espacial. Inicialmente se procesó el compuesto color natural (bandas 3-2-1), 3 (visible rojo), 2 (visible verde), 1 (visible azul), con el fin de tener una mejor visualización y digitalizar los sitios o campos de entrenamiento (número de píxeles representativos por categoría).

El número y distribución espacial de los campos de entrenamiento se elaboró de forma aleatoria y homogénea, a través de la interpretación de los compuestos generados previamente, verificados mediante recorridos de campo *in situ* con GPS, y precisados con la visualización cartográfica en plataformas digitales de representación espacial (Google Earth).

La delimitación de los campos de entrenamiento se realizó con base en la regla general establecida por Jensen (1996), que consiste en seleccionar como mínimo 10 veces el número de bandas utilizadas en el desarrollo de las estadísticas de entrenamiento. Posteriormente, se integró un mínimo de 100 campos para cada una de las categorías, se digitalizó un total de 600 puntos, de los cuales 100 corresponden al bosque de pino, 100 al bosque de oyamel, 100 a la vegetación secundaria, 100 a la agricultura, 100 a la zona urbana y 100 a los cuerpos de agua.

2. Clasificación de imágenes de satélite

Los métodos y procesamientos planteados en las fases metodológicas de preclasificación y clasificación fueron implementados en el software de análisis espacial ArcGis 10.2. La clasificación de las dos imágenes de satélite se realizó mediante la herramienta Image classification. Previamente, se ratificó cada punto delimitado en los sitios de entrenamiento para cada ecosistema; de esta forma, se estableció la representatividad de las muestras identificadas.

Una vez identificados los diferentes ecosistemas, se procedió a clasificar las imágenes aplicando el criterio de máxima verosimilitud (Maximum Likelihood

Classification), donde el algoritmo automáticamente clasificó toda el área, de acuerdo con el tipo de pixel que presenta reflectancia de un color del pixel respecto a los demás, lo cual permite ajustar con mayor robustez la disposición original de los datos, al estimar la precisión de la clasificación (Toro et al., 2015).

3. Validación de la cartografía de los ecosistemas forestales en 2022

Los datos obtenidos sobre la superficie de cada ecosistema identificado (cartografía de 2022) fueron sometidos a una validación con el fin de obtener el grado de fiabilidad; el proceso de evaluación de la confiabilidad temática se divide en tres etapas: a) diseño de muestreo, b) evaluación de los sitios de verificación y c) análisis de los datos (Mas et al., 2003).

Diseño de muestreo

Esta fase consiste en establecer las unidades de muestreo, el método de muestreo y el tamaño de la muestra (Camacho, 2015). La unidad de muestreo que se utilizó fue el punto. En cuanto al método de muestreo utilizado fue aleatorio estratificado, que permite tener el control sobre la distribución de los sitios de muestreo, garantizando que no se sobremuestren las coberturas de mayor extensión en relación con las de menor área (Mas et al., 2003). Por otra parte, el tamaño de la muestra fue establecido con base en dos aspectos, el primero determinado por Congalton (1988), quien sugiere verificar por lo menos 50 sitios por categoría. El segundo basado en los parámetros establecidos por Mas y Couturier (2011), quienes indican que para obtener una fiabilidad global de 80% y un medio intervalo de confianza de 5%, se deben aplicar 247 sitios de verificación.

b) Evaluación de los sitios de verificación

Para esta etapa se correlacionaron los puntos de muestreo previamente identificados de cada ecosistema presente en la cartografía; la valoración de los sitios de verificación

que corresponden a los ecosistemas presentes para 2022, se realizó con base en la carta de uso de suelo y vegetación de 2015 del INEGI.

Se registraron puntos de verificación de forma estratégica; es decir, se determinaron puntos en los límites cercanos a los centroides generados en la etapa anterior, con el fin de verificarlos en campo mediante el uso del GPS, y posteriormente relacionarlos con los píxeles clasificados en los mapas.

Se retomaron fuentes alternas de verificación para rectificar algunos puntos que fueron de difícil acceso en campo, esto se realizó a través de imágenes de alta resolución espacial de Google Earth para 2022; a continuación, se correlacionaron con los píxeles clasificados en la cartografía.

c) Análisis de los datos

Se elaboró una matriz de confusión o matriz de error para 2022, que permite comprobar la información de los sitios de verificación en los mapas de los ecosistemas seleccionados. En los resultados obtenidos mediante la matriz de cambios, se desarrolló el cálculo de los índices de fiabilidad y el medio-intervalo de confianza para el mapa de 2022, considerando como mínimo una fiabilidad estimada de 80% (Stehman & Czaplewski, 1998).

Previo al desarrollo de los índices de fiabilidad y el medio-intervalo de confianza, se realizó la corrección de las matrices de confusión, generadas por el tipo de método de muestreo que se utilizó en la investigación (aleatorio estratificado). Debido a que el número de sitios por categoría no es proporcional a la superficie representada por cada una de estas clases, se interpreta que el resultado no debe ser explicado de esta manera (Mas et al., 2003). Esta corrección se elaboró a través del método planteado por Card (1982), ponderando el número de sitios de verificación, en correlación con la superficie de cada una de las clases establecida en la cartografía.

La cartografía de los ecosistemas presentes para 2022 fue generada a partir de la clasificación supervisada de la imagen de satélite con el software Arc Gis 10.2 y mediante la aplicación y validación cartográfica (Mas y Couturier, 2011).

4. Análisis de la fragmentación en los ecosistemas forestales del Parque Nacional El Tepeyac

La fragmentación se determinó con el fin de conocer la transformación de un bosque continuo en unidades más pequeñas y aisladas entre sí, cuya área resultante es mucho menor a la del bosque original. Para el desarrollo del análisis de fragmentación es importante instalar la extensión Patch analyst, en el software Arc Map 10.2.2, la cual se descargó del link: http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/Patch5_2_Install.htm

Posteriormente se tomaron en cuenta los siguientes indicadores:

- I. Número de parches (Nump): es un indicador de varios procesos ecológicos. Adicionalmente, se emplea como índice de heterogeneidad del paisaje y como base para el cálculo de otras métricas (Correa et al., 2012).
- II. Tamaño medio de parche (MPS): es empleado como indicador de fragmentación, si se evalúa el tamaño del tipo de parche de interés (Correa et al., 2012).
- III. Índice de forma media (MSI): la forma del parche ejerce influencia en numerosos procesos interparques, como las migraciones de fauna. La forma de un parche está caracterizada por la longitud de sus bordes (Correa et al., 2012).

Una vez definidos los indicadores necesarios, se realizaron los siguientes procesos:

- a) Generar una malla hexagonal que cubrió la zona de estudio, a partir de la herramienta Patch/Make Hexagon Regions, tomando como base la capa con bosque (1) y no bosque (0), en donde se incluirán otras coberturas.
- b) Generar una intersección de la malla hexagonal con la capa de bosque y no bosque, mediante la opción Analysis Tools/Overlay/Intersect, donde se intersecaron ambas capas de información.
- c) Con la opción de la extensión Patch/analysis by regions, se obtuvieron los indicadores que ya fueron definidos por regiones, a través de una tabla de atributos, la cual el software ha procesado de forma interna y vinculado las dos capas de información.

- d) Vincular la tabla de análisis espacial por regiones a la capa de bosque y no bosque con el identificador respectivo, dejando únicamente los parches que registran bosque. Una vez que se realizaron estos procesos se ejecutó una modulación de los valores de los indicadores a través de la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Valor}-\text{valor mínimo}}$$

$$\text{Valor máximo}-\text{valor mínimo}$$

Se promediaron estos valores y se aplicó una normalización a los datos obtenidos en rangos, a fin de obtener los parches con mayor y menor fragmentación. Los valores de fragmentación refieren el grado de conservación de la cobertura forestal, siendo los valores muy bajo y bajo los que tienden más a conservarse, mientras que los valores altos y muy altos son las zonas que se inclinan a cambiar de cobertura o deforestarse. Finalmente, se calculó la captura de carbono a partir de los índices de captura de carbono, propuesto por Jiménez (2013) y Morfín et al. (2015), además de incluir el análisis comparativo con y sin fragmentación forestal.

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN Y DIVERSIDAD DE LOS ECOSISTEMAS PRESENTES EN EL PNET

El Parque Nacional El Tepeyac se encuentra ubicado dentro del eje neovolcánico transversal, forma parte de la Sierra de Guadalupe, presenta una fisiografía con una gran diversidad altitudinal (2 250 y 2 500 msnm), lo que genera que existan diversos microclimas favorables para el desarrollo de diversos ecosistemas forestales, los cuales se describen a continuación.

1. Bosque mixto de piñonero-pirul

El bosque mixto de piñonero-pirul, denominado así para esta investigación, está conformado por el piñón (*Pinus cembroides*), que es un árbol nativo de México de

la familia de las pináceas. Sus principales características son: baja estatura llegando a medir 10 metros de altura; sus hojas son muy pequeñas y sus conos miden de 5 a 6 cm; crece en laderas de cerros y lomeríos con pendientes secas y rocosas y al pie de las montañas entre los 1 350 y 2 800 msnm, en climas secos hasta templados subhúmedos con precipitación de hasta 800 mm anuales y con 7 a 8 meses secos.

Por otra parte, el pirul (*Schinus molle*) es un árbol de tamaño pequeño a mediano, habitualmente de 6 a 8 m de altura, con registros de individuos de 25 metros de alto. El diámetro del tronco puede llegar hasta 50 cm, ramas colgantes; corteza exterior café o gris, muy áspera; exfoliante en placas largas; tricomas erectos o curvados, hasta 0.1 mm de largo, blanquecinos; plantas dioicas. Es importante mencionar que son especies inducidas debido a los altos grados de deforestación e incendios forestales dentro y en los límites del parque (Fotografía 1).

Fotografía 1. Bosque mixto de piñonero-pirul en el PNET

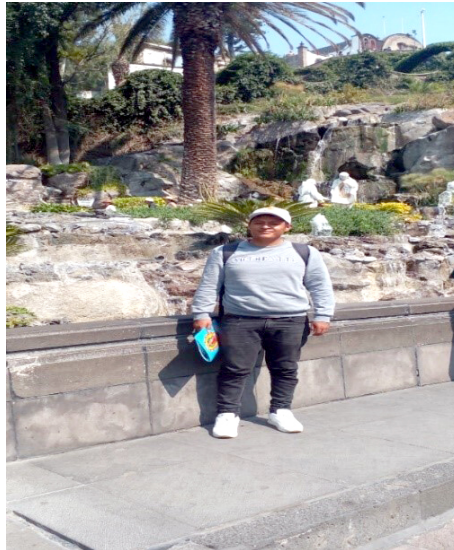


Fotografía: Santiago Juan Medina Silva (2023).

2. Bosque mixto de cedro-eucalipto

El bosque mixto de cedro-eucalipto, denominado así para esta investigación, está conformado por el cedro blanco (*Cupressus lindleyi*); son árboles de hasta 30 m de alto, con el tronco hasta 1.5 m de diámetro, corteza rojiza, delgada, fisurada longitudinalmente; ramas no arregladas en un plano, extendidas o ascendentes formando una copa cónica. Por otra parte, el eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) crece hasta 20 m, llega a medir 60 m de altura; su ritidoma (corteza) es gruesa (3 cm) y esponjosa, mezclando los rojizos, grises, verdosos y blancuzcos (Fotografía 2).

Fotografía 2. Bosque mixto de cedro-eucalipto en el PNET



Fotografía: Santiago Juan Medina Silva (2023).

3. Vegetación secundaria

La vegetación secundaria, denominada así para esta investigación, está conformada por tipos de matorral y manchas de árboles de palo dulce o palo cuate (*Eysenhardtia polystachya*), cuajilote amarillo (*Bursera* sp.), casahuate (*Ipomoea* sp), mezquite (*Prosopis juliflora*) y membrillo cimarrón *Cotoneaster* (Fotografía 3).

Fotografía 3. Vegetación secundaria en el PNET



Fotografía: Santiago Juan Medina Silva (2023).

4. Zona urbana

Para este uso de suelo se engloba la infraestructura vial, localidades urbanas y rurales. Dentro del Parque Nacional El Tepeyac la principal aglomeración urbana se da en la Alcaldía Gustavo A. Madero, donde existen alrededor de seis mil casas habitación en terrenos que los ejidatarios de San Andrés Acatenco vendieron en forma ilegal (Fotografía 4).

Fotografía 4. Localidades urbanas en el PNET



Fotografía: Santiago Juan Medina Silva (2023).

ANÁLISIS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS PRESENTES EN EL PARQUE NACIONAL EL TEPEYAC

El Parque Nacional El Tepeyac presentó para 2022 una superficie de 249 hectáreas, distribuidas en cuatro distintos ecosistemas (Tabla 1). El bosque mixto de piñero-pirul cuenta con una superficie de 66 hectáreas, es el de mayor proporción forestal (26.51%), se distribuye principalmente en la zona centro, norte y este del Área Natural Protegida (ANP).

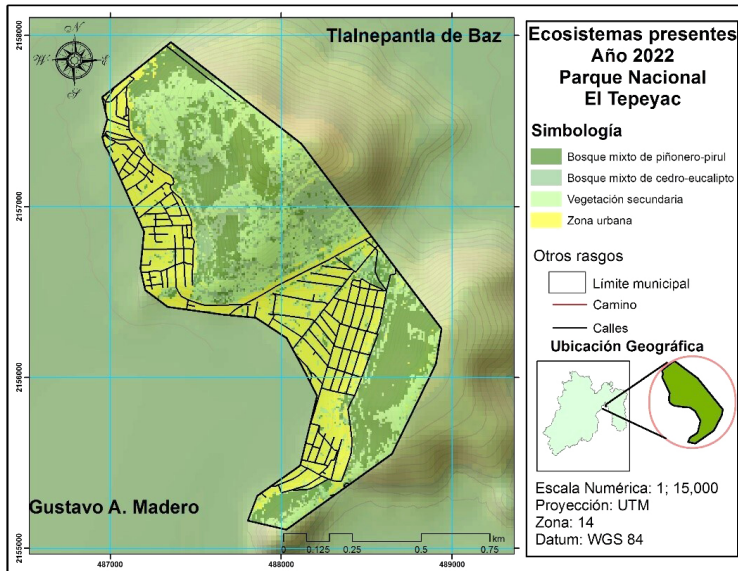
Tabla 1. Superficie de los ecosistemas presentes en el PNET

<i>Núm.</i>	<i>Ecosistema</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>(%)</i>
1	Bosque mixto de piñero-pirul	66	26.51
2	Bosque mixto de cedro-eucalipto	31	12.45
3	Vegetación secundaria	65	26.10
4	Zona urbana	87	34.94
	<i>Total</i>	<i>249</i>	<i>100</i>

Fuente: elaboración propia (2023).

El ecosistema forestal bosque mixto de cedro-eucalipto cuenta con una superficie de 31 hectáreas, equivalente a 12.45%; está distribuido en la zona oeste y norte del área de estudio, entre las altitudes que van de 2 400 a 2 700 msnm; el tercer ecosistema es la vegetación secundaria con 65 hectáreas (26.10%), distribuido la mayor parte en la zona norte (Figura 2). El cuarto ecosistema es la zona urbana, que cuenta con una superficie de 87 hectáreas (34.94%), es el de mayor extensión territorial, distribuidas en la zona centro y norte del ANP.

Figura 2. Ecosistemas presentes en el Parque El Tepeyac



Fuente: elaboración propia (2020).

VALIDACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE LOS ECOSISTEMAS PRESENTES EN EL PNET

Se verificaron 400 puntos de muestreo en el mapa final para el año 2022, correspondientes a 100 puntos de verificación (verdad terreno) para cada ecosistema identificado (categorías del mapa = verdad imagen). En la matriz de confusión error para 2022, de los 400 puntos de verificación, 393 corresponden al ecosistema asignado; sólo 7 puntos resultaron de otro ecosistema diferente al asignado. Se generaron en función de la proporción de la superficie (porcentaje de las categorías clasificadas), del número total de los puntos de muestreo verificados (verdad terreno); de esta manera, se consigue calcular la superficie en porcentaje de los ecosistemas de los mapas (Tabla 2).

Tabla 2. Confiabilidad de la cartografía, mediante la matriz de error de 2022

Año 2022		Verdad imagen (Clases del mapa)				
		<i>Bosque mixto de piñero-pirul</i>	<i>Bosque mixto de cedro-eucalipto</i>	<i>Vegetación secundaria</i>	<i>Zona urbana</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Bosque mixto de piñero-pirul	98	1	1	0	100
	Bosque mixto de edro-eucalipto	1	98	0	0	100
	Vegetación secundaria	0	1	98	1	100
	Zona urbana	1	0	1	99	100
<i>Total verdad imagen</i>		100	100	100	100	400

Fuente: elaboración propia (2023).

Los resultados alcanzados mediante la matriz de confusión, expresada en proporción (Tabla 3), son los siguientes: de los puntos de verificación analizados, se identificaron 7 que no coinciden con las categorías del mapa, por lo que se realizaron los ajustes necesarios dando como resultado los siguientes porcentajes ajustados en el mapa para cada ecosistema: bosque mixto de piñero-pirul (24.9% de la superficie total); bosque mixto de cedro-eucalipto (25.2%); vegetación secundaria (28.7%), y localidades urbanas (21.1%).

Tabla 3. Análisis de confiabilidad de la cartografía, mediante la matriz de error expresada en proporción

Año 2022		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>				
		<i>Bosque mixto de piñero-pirul</i>	<i>Bosque mixto de cedro-eucalipto</i>	<i>Vegetación secundaria</i>	<i>Zona urbana</i>	<i>Total verdad terreno</i>
<i>Verdad terreno (Clases de referencia)</i>	Bosque mixto de piñero-pirul	0.23	0.08	0	0.08	0.25
	Bosque mixto de cedro-eucalipto	0.03	0.24	0.02	0	0.25
	Vegetación secundaria	0.01	0	0.22	0.08	0.25
	Zona urbana	0	0	0.05	0.19	0.25
<i>Total verdad imagen</i>		0.24	0.25	0.28	0.21	1.0
<i>Proporción representada en el mapa</i>		0.26	0.12	0.26	0.34	1

Fuente: elaboración propia (2023).

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos a través del método de Card (1982); este método pondera el número de sitios de verificación (verdad terreno) en correlación a la superficie de cada uno de los ecosistemas forestales (verdad imagen). Para el bosque mixto de piñero-pirul (25.5% de la superficie total), bosque mixto de cedro-eucalipto (12.5%), vegetación secundaria (28.1%) y localidades urbanas (34.4%).

Tabla 4. Matriz de error corregida de acuerdo con Card (1982)

<i>Año 2022</i>		<i>Bosque mixto de piñero-pirul</i>	<i>Bosque mixto de cedro-eucalipto</i>	<i>Vegetación secundaria</i>	<i>Zona urbana</i>	<i>Total verdad terreno</i>
<i>Verdad terreno (Clases de referencia)</i>	Bosque mixto de piñero-pirul	0.24	0.04	0	0.01	0.26
	Bosque mixto de cedro-eucalipto	0.04	0.12	0.02	0	0.12
	Vegetación secundaria	0	0	0.20	0.01	0.21
	Zona urbana	0	0	0.06	0.32	0.39
<i>Total verdad imagen</i>		0.25	0.12	0.28	0.34	1.0
<i>Proporción representada en el mapa</i>		0.26	0.12	0.26	0.34	1

Fuente: elaboración propia (2023).

CONFIABILIDAD GLOBAL E INTERVALOS DE CONFIANZA

La confiabilidad global representa las categorías correctamente clasificadas en los mapas. La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos de los intervalos de confianza de la confiabilidad del mapa. Se identificó una proporción de 100% verdad imagen para la confiabilidad del usuario; la zona urbana obtuvo los valores más altos (99%), por lo que el error de comisión corregido es de 1%; por otro lado, la menor confiabilidad corresponde al ecosistema vegetación secundaria con 97%, por lo que el error de comisión se calculó de 3%; de acuerdo con Mas (2003), 80% es el límite permitido para tener valores confiables en la cartografía final.

En relación con la confiabilidad del productor, el bosque mixto de cedro-eucalipto representa los valores más altos con una proporción de 99% verdad imagen, por lo que el error de omisión corresponde al 1%; por otra parte, el ecosistema vegetación secundaria muestra la mínima confiabilidad del productor con 96% y el mayor nivel

de error de omisión es de 4%. En general, la confiabilidad global que presenta el mapa de los ecosistemas del Parque Nacional El Tepeyac es de 97.7% verdad imagen y 0.61% del intervalo de confianza de la confiabilidad global.

Tabla 5. Confiabilidad global y sus intervalos de confianza

<i>Año 2022</i>	<i>Bosque mixto de piñero-pirul</i>	<i>Bosque mixto de cedro-eucalipto</i>	<i>Vegetación secundaria</i>	<i>Zona urbana</i>	<i>Confiabilidad global (%)</i>	<i>Intervalo de confianza de la confiabilidad global (%)</i>
Confiabilidad del usuario	98	98	97	99	97.75	0.61
Error de comisión	2	2	3	1		
Intervalo de confianza de la confiabilidad del usuario	1.06	0.98	0.97	1.12		
Confiabilidad del productor	97	99	96	97		
Error de omisión	3	1	4	3		
Intervalo de confianza de la confiabilidad del productor	0.30	0.01	0.206	0.30		

Fuente: elaboración propia (2023).

AJUSTE A LAS SUPERFICIES DERIVADAS DE LOS MAPAS CLASIFICADOS

Los resultados de los valores correspondientes a la proporción corregida, en relación con el resultado del ajuste de los errores de clasificación, arrojaron que el ecosistema

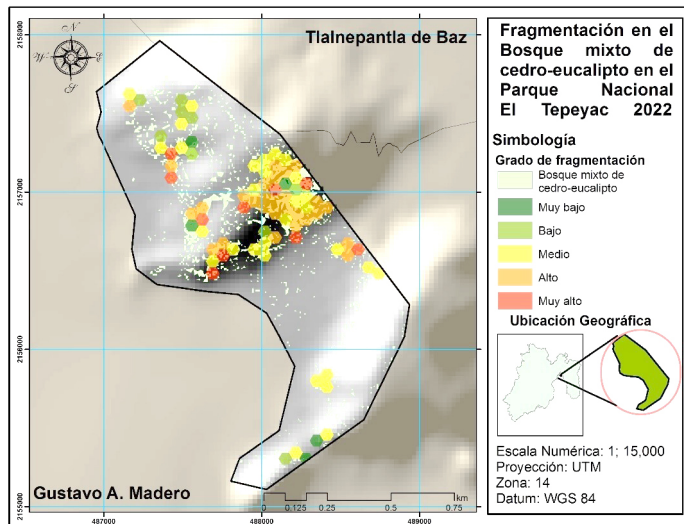
vegetación secundaria requirió una mayor corrección debido a la presencia de errores de omisión y comisión.

ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES DEL PARQUE NACIONAL EL TEPEYAC

A continuación, se presenta la cartografía referente al grado de fragmentación forestal del bosque mixto de cedro-eucalipto y bosque mixto de piñonero-pirul en el Parque Nacional El Tepeyac para el año 2022.

Para el bosque de cedro-eucalipto la leyenda corresponde a cuatro categorías, que en la suma de todas éstas se observan 82 polígonos, de los cuales se encuentran divididos en las siguientes clases: muy bajo (5), bajo (9), medio (30), alto (28) y muy alto (10). Los valores más bajos de densidad forestal se concentran en la zona centro y oeste del parque, lo que coincide con las áreas donde las pendientes son menores y donde se desarrollan múltiples actividades recreativas, de comercio y turísticas, mismas que provocan un aumento en la deforestación en la zona (Figura 3).

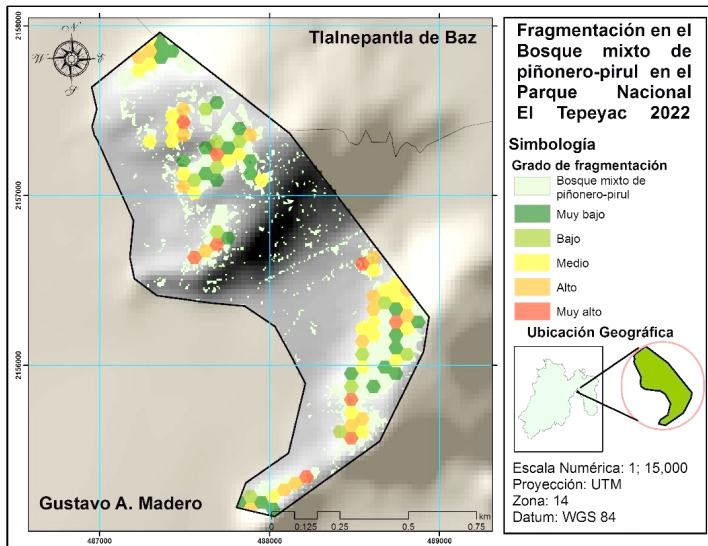
Figura 3. Fragmentación en el bosque mixto de cedro-eucalipto en el Parque Nacional El Tepeyac



Fuente: elaboración propia (2023).

En el ecosistema forestal bosque mixto de piñonero-pirul se determinaron cinco categorías, con un total de 91 polígonos, los cuales se encuentran divididos en los siguientes rangos: muy bajo (25), bajo (12), medio (27), alto (18) y muy alto (9). Los polígonos referentes a los valores bajos de fragmentación se concentran en la zona norte del parque, lo que corresponde a las áreas donde se presentan las pendientes más ligeras, y donde se han implementado diversas campañas de reforestación y planes gubernamentales de restauración (Figura 4). Por otra parte, en la zona centro existe la actividad económica referente al comercio, lo que genera contaminación a los espacios naturales y se limita el desarrollo óptimo de los ecosistemas forestales.

Figura 4. Fragmentación en el bosque mixto de piñonero-pirul del PNET



Fuente: elaboración propia (2023).

CAPTURA DE CARBONO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES DEL PARQUE NACIONAL EL TEPEYAC

La captura de carbono se calculó por ecosistema forestal para el año 2022; se realizó a partir de los índices de captura de carbono propuesto por Jiménez (2013) y Morfín

et al. (2015). Es importante resaltar que el análisis de captura de carbono se hizo con los datos de fragmentación forestal y sin éstos, con el objetivo de comparar y resaltar el nivel de detalle alcanzado a partir de este proceso.

El PNET presenta dos tipos de ecosistemas forestales: la captura de carbono para el año 2022 sin fragmentación forestal en el bosque mixto de cedro-eucalipto fue de 13.99 toneladas, equivalentes a 31 hectáreas, distribuidas en la zona centro y norte del ANP. El ecosistema forestal bosque mixto de piñonero-pirul tiene una superficie de 66 hectáreas, equivalentes a 30.20 toneladas de carbono almacenado, distribuidas en la zona sureste del área de estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Captura de carbono en los ecosistemas forestales del PNET

<i>Núm.</i>	<i>Ecosistema</i>	<i>Superficie</i>	<i>Superficie</i>	<i>Índice</i>	<i>Carbono</i>	<i>Carbono</i>
		<i>(ha)</i>	<i>(ha)</i>		<i>capturado</i>	<i>capturado</i>
		<i>Sin</i>	<i>Con</i>	<i>de</i>	<i>(ton)</i>	<i>(ton)</i>
		<i>análisis</i>	<i>análisis</i>	<i>captura</i>	<i>Sin</i>	<i>Con</i>
		<i>de</i>	<i>de</i>	<i>carbono</i>	<i>análisis</i>	<i>análisis</i>
		<i>fragmen-</i>	<i>fragmen-</i>		<i>de</i>	<i>de</i>
		<i>tación</i>	<i>tación</i>		<i>fragmen-</i>	<i>fragmen-</i>
					<i>tación</i>	<i>tación</i>
1	Bosque mixto de cedro-eucalipto	31	21	0.4516	13.99	9.48
2	Bosque mixto de piñonero-pirul	66	45.5	0.4576	30.20	20.82

Fuente: elaboración propia (2023).

La fragmentación forestal permitió realizar un análisis comparativo a mayor detalle; la superficie para el bosque de cedro-eucalipto disminuyó su superficie 10 ha, equivalentes a 4.51 toneladas de captura de carbono. Para el bosque mixto de piñonero-pirul la superficie reducida fue de 10.5 ha, equivalentes a 4.8 toneladas de captura de carbono menos para este año (Tabla 6).

CONCLUSIONES

El análisis sobre la captura de carbono, con base en el proceso de fragmentación forestal, permitió conocer a detalle cuáles son los bosques y las zonas con menor densidad forestal. La cartografía generada consiste en identificar polígonos con los valores más altos de fragmentación. Éstos se ubican en la zona centro y sur del parque, en el Estado de México, donde se desarrollan múltiples actividades turísticas, económicas y religiosas; lo anterior, repercute directamente en el desarrollo de los bosques, ya que existe un deficiente manejo de residuos sólidos que limitan el desarrollo óptimo de los bosques, debido a diferentes factores, como la falta de coordinación entre el municipio de Tlalnepantla de Baz y la alcaldía Gustavo A. Madero de la Ciudad de México, además de la tenencia de la tierra, ya que 56% es ejidal (165 hectáreas) y 44% es particular (100 hectáreas).

Ejemplo de ello son las limitaciones por parte de autoridades gubernamentales y particulares en el manejo sustentable entre el medio natural y social, en favor de este espacio, bajo una estricta normativa de un plan de manejo inexistente para este parque. Por esta razón, es fundamental el estudio con base en la línea de ciencias ambientales con la que se identifiquen zonas prioritarias de atención para el rescate de estos espacios. En conclusión, el parque no cumple con los requerimientos idóneos para considerarlo dentro de la categoría de parque nacional, por lo que sería conveniente valorar su recategorización y convertirse en parque urbano o zona de conservación ecológica.

REFERENCIAS

- Bertalanffy Von, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica.
- Camacho, J. M., Juan, J. I., Pineda, N. B., Cadena, E. G., Bravo, L. C. y Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2008). *Programa de Conservación y Manejo*. Parque Nacional Lagunas de Zempoala.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2016). *Bosques templados de México*. <https://www.conabio.gob.mx/bosqueTemplado>

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2018). *Bosques templados de México*. <https://www.conabio.gob.mx/bosqueTemplado>
- Correa, J., Volante, J. y Seghezze, L. (2012). Análisis de la fragmentación y la estructura, paisaje en bosques nativos del norte argentino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (16), 97-103.
- Congalton, R. G. (1988). A comparison of sampling scheme use in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(5), 593-60.
- Card, H. D. (1982). Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(3), 431-439.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Uso de suelo y vegetación*. <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
- Jensen, J. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (2a. ed.). Prentice-Hall. Upper Saddle River.
- Jiménez, J., Treviño, E. y Yerena, J. (2013). Concentración de carbono en especies del bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17).
- Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia “otro” programa de sociología ambiental. *Revista Mexicana de Sociología*, 71(1), 5-46.
- Mas, J. F., Reyes, J. y Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, (51), 53-72.
- MAS, J. F. y Couturier S. (2011). *Evaluación de bases de datos cartográficas*. En F. Bautista (Ed.). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (2da. ed., pp. 675-703). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental/Instituto de Geografía.
- Morfin, R. et al., (2015). *Estimación de las reservas de carbono en la biomasa forestal en México. Fortalecimiento de la preparación REDD+ en México y fomento de la cooperación Sur-Sur*. Comisión Nacional Forestal.
- Rejas, J. (2008). *Tratamiento digital previo de las imágenes*. Consultado el 28 febrero de 2024 en http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45518/componente45516.pdf
- Stehman, S. & Czaplewski, R. (1998). Design and analysis for thematic map accuracy assesment fundamental principles. *Remote Sensing of Environment*, (64), 331-334.

- Toro, N., Gomariz, F., Cánovas, F. y Sierra, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del Río Argos (Región de Murcia). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (67), 327-347.
- Vargas Márquez, F. (1984). *Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro*. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.

EL ROL DE CHILPANCINGO EN EL ENTRAMADO TERRITORIAL DE LA REGIÓN CENTRO DE GUERRERO

*Nefthalí García Castro**

*Pedro Vidal Tello Almaguer***

*Yuridia Lozano Peñaloza****

*Floriberto González González*****

RESUMEN

La estructura y dinámica económico-territorial de la región Centro del estado de Guerrero gravita en torno a la ciudad de Chilpancingo, principal nodo político-administrativo de la entidad, cuyo radio de influencia se extiende sobre gran parte del territorio guerrerense. En ese orden de ideas, el sistema de ciudades de la región denota disparidades sustanciales que se traducen en niveles distintos de consolidación urbano-regional. La presente investigación tuvo como propósito analizar algunas de las características de los asentamientos urbanos más importantes de este segmento geográfico de Guerrero, así como la impronta de éstos en el rol que desempeñan los municipios a nivel regional; en particular, la ciudad de Chilpancingo. Este capítulo se estructuró con base en planteamientos de la geografía urbana y la geografía económica: se retomaron los aportes metodológicos de geógrafos españoles y mexicanos para determinar la morfología del sistema urbano, así como para definir un conjunto de indicadores que dieron pauta para caracterizar al territorio y proponer un índice de consolidación urbano-regional.

Palabras clave: Sistema urbano-regional, Estructura económico-territorial, Asentamientos urbanos, Regiones funcionales.

* Profesor-investigador, Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, Universidad Autónoma de Guerrero, neftaligarcia@uagro.mx

** Profesor-investigador, Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, Universidad Autónoma de Guerrero, pedroalmaguer@uagro.mx

*** Profesora, Escuela Superior de Ciencias Económicas, Universidad Autónoma de Guerrero, loz.uagro1@gmail.com

**** Profesor-investigador, Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, Universidad Autónoma de Guerrero, florgogo2014@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) considera que los estudios en torno a la función y la estructura de sistemas urbano-regionales son relevantes, debido a que las ciudades aglutinan gran parte de la población y actividades económicas, principalmente terciarias y secundarias, las cuales juegan un papel estratégico para el desarrollo regional y nacional. En ese orden de ideas, cobra importancia el análisis de aspectos como: 1) la morfología del sistema urbano-regional, 2) la jerarquía funcional de las ciudades según el papel que desempeñan en la oferta de bienes y servicios y 3) la dinámica urbana como proceso sustancial para el ordenamiento del territorio (CEPAL, 2013).

El propósito del análisis urbano-regional es

[...] identificar las condiciones actuales del territorio, a través de la determinación de situaciones que pueden considerarse como problemáticas o conflictivas y que se consolidan como la base para mejorar y fomentar condiciones de desarrollo, así como potencialidades que pueden fortalecerse mediante la ejecución de proyectos estratégicos integrales (Bernal, 2015, p. 6).

Por lo tanto, un diagnóstico de esta índole da pauta para “entender las dinámicas territoriales predominantes en un contexto urbano, municipal, regional, departamental e incluso nacional, [...] y asumir posiciones críticas y diversas, [...] en el marco del desarrollo urbano y regional” (Bernal, 2015, p. 6).

Si bien el análisis urbano-regional cuenta con diferentes alternativas metodológicas, antes de señalar alguna opción específica, la literatura especializada recomienda tomar en cuenta las dificultades metodológicas que suelen impedir un enfoque holístico, como las características socioterritoriales intrínsecas de cada espacio y la disponibilidad de información relacionada con éstas (Sepúlveda et al., 2003). Dicho lo anterior, la presente investigación toma como referente cognoscitivo básico dos investigaciones geográficas: 1) los procedimientos metodológicos sobre los sistemas de asentamientos descritos por Carrera et al. (1998) y 2) los aportes de Palacio et al. (2004) en torno a los indicadores para la caracterización del territorio.

Para Godoy (2003), un sistema urbano es un conjunto de sitios con distinto tamaño y función, cuya interacción incide en la estructura y dinámica territorial de la

región que los alberga. Si bien la complejidad del sistema urbano-regional guarda una relación estrecha con la dimensión de las ciudades, y la especialización en la oferta de bienes y servicios que existen en ellas, en los últimos decenios, las transformaciones estructurales de carácter económico, político y social han ocasionado que los sistemas urbanos sean más flexibles. Por lo tanto, es conveniente ponderar a los sistemas de asentamientos a través de análisis que arrojen luz sobre sus atributos socioterritoriales más notables, lo cual da pauta para evaluar la influencia de éstos sobre las jurisdicciones que los circunscriben.

Por lo tanto, el propósito de la presente investigación fue analizar algunas de las características de los asentamientos urbanos más importantes de la región Centro de Guerrero, así como la impronta de estos rasgos en el rol que desempeñan los municipios a nivel regional, en particular, Chilpancingo. El trabajo se estructuró con base en planteamientos de la geografía urbana y la geografía económica; se retomaron los aportes metodológicos de geógrafos españoles y mexicanos para determinar la morfología del sistema urbano, así como para definir un conjunto de indicadores que dieran pauta para caracterizar al territorio y establecer un índice de consolidación urbano-regional.

ÁREA DE ESTUDIO

La región Centro del estado de Guerrero tiene una extensión territorial de 9 908 km² (15.37% de la superficie estatal) y está integrada por los siguientes municipios: Chilpancingo de los Bravo (2 180 km²), General Heliodoro Castillo (1 703 km²), Eduardo Neri (1 257 km²), Ahuacuotzingo (870 km²), Quechultenango (836 km²), Chilapa de Álvarez (752 km²), Leonardo Bravo (719 km²), Mártir de Cuilapan (624 km²), Mochitlán (522 km²), Juan R. Escudero (409 km²), Tixtla de Guerrero (382 km²), Zitlala (301 km²) y José Joaquín de Herrera (133 km²) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020) (Figura 1).

En la región existen 27 localidades urbanas,¹ destacan Chilpancingo de los Bravo (225 728 personas), Chilapa (33 783 personas), Zumpango del Río (27 944 personas), Tixtla de Guerrero (24 920 personas), Petaquillas (12 544 personas),

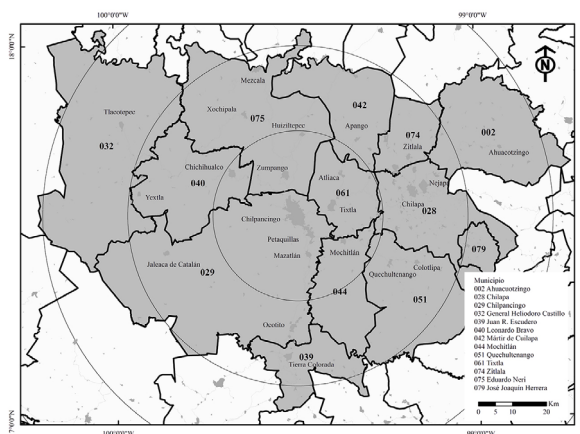
¹ De acuerdo con el INEGI, un asentamiento humano es considerado urbano cuando tiene 2 500 habitantes o más.

Chichihualco (12 483 personas), Tierra Colorada (12 262 personas), Tlacotepec (8 442 personas), Quechultenango (7 214 personas), Ocotito (125 446 757 personas), Atliaca (6 321 personas), Mazatlán (6 093 personas), Zitlala (6 077 personas) y Mochitlán (6 052 personas).

La región tiene una población ocupada de 269 522 (20.71% del total estatal). Chilpancingo de los Bravo participa con 42.54% de ese monto, Chilapa de Álvarez con 19.21%, Eduardo Neri con 7.95%, Tixtla de Guerrero con 6.78%, Quechultenango con 3.78%, General Heliodoro Castillo con 3.28%, Zitlala con 3.19%, Juan R. Escudero con 3.11%, Mártir de Cuilapan con 2.82%, Leonardo Bravo con 2.43%, Ahuacuotzingo con 1.69%, Mochitlán con 1.68% y José Joaquín de Herrera con 1.54% (INEGI, 2020).

Con base en el porcentaje de personas ocupadas, el sector primario es importante en los municipios de José Joaquín de Herrera (61.84), General Heliodoro Castillo (61.73), Leonardo Bravo (50.08), Ahuacuotzingo (38.79) y Mochitlán (35.93). El sector secundario es relevante en Mártir de Cuilapan (51.22), Zitlala (46.83), Ahuacuotzingo (36.73), Quechultenango (32.87) y Eduardo Neri (31.47). Por su parte, el terciario es notable en Chilpancingo de los Bravo (78.41), Tixtla de Guerrero (62.93), Eduardo Neri (57.02), Juan R. Escudero (55.12), Chilapa de Álvarez (52.87) y Mochitlán (48.50) (INEGI, 2020) (Tabla 1).

Figura 1. Región Centro: división político-administrativa



Nota: los radios se trazaron a partir del centro de la ciudad de Chilpancingo.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

Tabla 1. Región Centro: distribución de la población ocupada según sector económico

<i>Municipio</i>	<i>Población ocupada</i>	<i>Primario %</i>	<i>Secundario %</i>	<i>Terciario %</i>
Chilpancingo de los Bravo	114 660	5.05	16.54	78.41
Chilapa de Álvarez	51 772	17.61	29.52	52.87
Eduardo Neri	21 423	11.51	31.47	57.02
Tixtla de Guerrero	18 278	16.58	20.49	62.93
Quechultenango	10 180	31.82	32.87	35.31
General Heliodoro Castillo	8 831	61.73	13.86	24.41
Zitlala	8 589	32.11	46.83	21.06
Juan R. Escudero	8 393	28.39	16.49	55.12
Mártir de Cuilapan	7 599	27.08	51.22	21.70
Leonardo Bravo	6 560	50.08	21.74	28.19
Ahuacuotzingo	4 547	38.79	36.73	24.48
Mochitlán	4 526	35.93	15.58	48.50
José Joaquín de Herrera	4 164	61.84	17.87	20.29

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

MORFOLOGÍA DEL SISTEMA URBANO

Este apartado tiene como finalidad identificar las características más significativas del sistema de ciudades de la región Centro de Guerrero. Se exponen las particularidades conceptuales y metodológicas de los cálculos realizados para ponderar: 1) la distribución territorial de los asentamientos humanos más importantes de este segmento de la entidad, 2) los sitios en torno a los cuales tienden a aglutinarse gran parte de esos sitios, 3) el área de influencia de los mismos, 4) la relevancia demográfica de la principal ciudad que existe en el conjunto evaluado y 5) la distribución jerárquica de las localidades que se tomaron en cuenta en el estudio.

- a. *Distribución espacial.* Una de las alternativas metodológicas para ponderar la distribución espacial de los asentamientos es el índice Nearest-neighbour (Rn), el cual puede tener valores comprendidos entre 0 y 2.15. El índice Rn es igual a 0, cuando el sistema de asentamientos tiene un carácter concentrado; la mayoría de las localidades analizadas se aglutinan en una misma área del territorio en cuestión. Por otra parte, el valor 2.15 advierte dispersión máxima; las localidades estarían distribuidas de manera homogénea según la retícula hexagonal de Christaller. En contraste, el índice tiene valor de 1 cuando el sistema está constituido por asentamientos dispuestos de manera aleatoria (sin un patrón definido) (Carrera et al., 1998) (Tabla 2). El índice Rn se calcula con la fórmula siguiente:

$$Rn = 2d \sqrt{\frac{N}{S}}$$

Donde:

d = promedio de la sumatoria de las distancias correspondientes a cada asentamiento humano y su vecino más cercano

N = número total de asentamientos humanos

S = extensión territorial del área estudiada

Tabla 2. Región Centro: índice Rn

<i>Ciudad</i>	<i>Ciudad más próxima</i>	<i>Distancia (km)</i>
Zitlala	Ahuacotzingo	52.68
Yextla	Tlacotepec	42.68
Jaleaca de Catalán	Yextla	34.39
Ayahualulco	Hueycatenango	33.41

Continúa...

<i>Ciudad</i>	<i>Ciudad más próxima</i>	<i>Distancia (km)</i>
Chichihualco	Zumpango	32.68
Apango	Huiziltepec	32.68
Hueycatenango	Colotlipa	29.76
Mezcala	Xochipala	27.32
Huiziltepec	Zumpango	26.83
Mochitlán	Petaquillas	21.95
Atliaca	Tixtla	17.32
Ocotito	Tierra Colorada	17.07
Colotlipa	Quechultenango	14.63
Tixtla	Chilpancingo	13.41
Mazatlán	Petaquillas	12.20
Ponchahuizco	Acatlán	11.71
Zitlala	Acatlán	8.78
Chilapa	Nejapa	7.32
Chilpancingo	Petaquillas	7.32

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

Para el caso de la región Centro:

$$Rn = 2(16.44) \sqrt{\frac{27}{9908}}$$

$$Rn = 32.89\sqrt{0.0027}$$

$$Rn = 32.89 (0.052)$$

$$Rn = 1.71$$

- b. *Centro de gravedad.* De acuerdo con Carrera et al. (1998), si en un sistema de asentamientos humanos, éstos se distribuyen de manera homogénea, el centro de gravedad se sitúa en el punto medio de la región analizada. Por otra parte, cuando existe una alta concentración de localidades en un área específica de la región, el centro de gravedad suele desplazarse cerca de dicha zona. El centro de gravedad puede ser simple o ponderado; el primero se calcula con base en la ubicación de cada una de las localidades estudiadas, con esta finalidad se determina un sistema arbitrario de coordenadas (al eje de las ordenadas $[y]$ se le denomina nortes y al de las abscisas $[x]$, estes). De esta manera, se determina la media aritmética del conjunto de valores que los distintos asentamientos tienen en uno y otro eje; estos dos valores dan pauta para identificar al centro de gravedad en el mapa (Tabla 3).

En cuanto al centro de gravedad ponderado, además de la ubicación (nortes y estes), toma en cuenta la importancia de cada asentamiento; por ejemplo, la relevancia demográfica (número de habitantes) o económica (cantidad de población ocupada). El factor de ponderación (w), en esta ocasión la población de cada asentamiento, se multiplica por los valores x e y . Así, el centro de gravedad ponderado resulta al dividir la sumatoria xw e yw entre el total de personas que habitan en las localidades consideradas en el análisis. Cabe destacar que también suele calcularse la desviación típica de las distancias y el radio de acción, tanto del centro de gravedad simple como del ponderado, para identificar el grado de dispersión de los asentamientos con respecto a estos puntos (Figura 2).

Tabla 3. Región Centro: centro de gravedad simple y ponderado

<i>Ciudad</i>	<i>Habitantes (w)</i>	<i>Nortes (y)</i>	<i>Estes (x)</i>	<i>yw</i>	<i>xw</i>
Chilpancingo de los Bravo	225 728	6.5	8.5	1 467 232	1 918 688
Chilapa	33 783	7.3	12.3	246 615.9	415 530.9
Zumpango	27 944	7.9	8.2	220 757.6	229 140.8

Continúa...

<i>Ciudad</i>	<i>Habitantes (w)</i>	<i>Nortes (y)</i>	<i>Estes (x)</i>	<i>yw</i>	<i>xw</i>
Tixtla de Guerrero	24 920	6.8	9.7	169 456	241 724
Petaquillas	12 544	5.9	9.1	74 009.6	114 150.4
Chichihualco	12 483	7.9	6.3	98 615.7	78 642.9
Tierra Colorada	12 262	1.9	8.2	23 297.8	100 548.4
Tlacotepec	8 442	9.5	2.8	80 199	23 637.6
Quechultenango	7 214	4.9	11.7	35 348.6	84 403.8
Ocotito	6 757	2.9	8.4	19 595.3	56 758.8
Atliaca	6 321	7.9	10	49 935.9	63 210
Mazatlán	6 093	5.2	9	31 683.6	54 837
Zitlala	6 077	8.5	12.2	51 654.5	74 139.4
Mochitlán	6 052	5.6	10.1	33 891.2	61 125.2
Mezcala	5 654	11.3	7.2	63 890.2	40 708.8
Apango	4 917	9.1	10.5	44 744.7	51 628.5
Huitziltepec	4 534	9.2	8.7	41 712.8	39 445.8
Nejapa	4 361	7.5	12.8	32 707.5	55 820.8
Ahuacuotzingo	4 072	8.7	15.2	35 426.4	61 894.4
Ayahualulco	3 855	6.1	12.3	23 515.5	47 416.5
Colotlipa	3 815	5	12.5	19 075	47 687.5
Acatlán	3 719	8	12.4	29 752	46 115.6
Xochipala	3 444	9.9	6.9	34 095.6	23 763.6
Yextla	3 262	7.2	3.3	23 486.4	10 764.6
Pochahuizco	3167	8.1	11.8	25 652.7	37 370.6
Jaleaca de Catalán*	2 359	5.3	4.2	12 502.7	9 907.8

Continúa...

<i>Ciudad</i>	<i>Habitantes (w)</i>	<i>Nortes (y)</i>	<i>Estes (x)</i>	<i>yw</i>	<i>xw</i>
Hueycantenango*	2 084	5.5	14.2	11 462	29 592.8
Sumatoria	445 863	189.6	258.5	3 000 316.2	4 018 654.5
Promedio	16 513.4	7.0	9.6	6.7	9.0

* La población es menor a 2 500 habitantes; no obstante, se analizaron porque figuran como polígonos urbanos en la cartografía de INEGI.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

- c. *Desviación típica de las distancias.* Es una medida de dispersión que muestra si los diferentes asentamientos están concentrados o dispersos en torno al centro de gravedad simple. Se determina de manera similar a la desviación típica, pero presenta las variaciones siguientes: la diferencia entre cada valor y la media aritmética es sustituido por la distancia que existe entre cada asentamiento y el centro de gravedad simple (Tabla 4). La fórmula utilizada se presenta a continuación.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}$$

Donde:

δ = desviación típica de las distancias

d = distancia entre cada asentamiento y el centro de gravedad simple

n = número total de asentamientos

Tabla 4. Región Centro: desviación típica de las distancias

<i>Ciudad</i>	<i>Distancia (d)</i>	<i>d2</i>
Ahuacuotzingo	6.28	39.44
Tlacotepec	6.13	37.58
Yextla	5.72	32.72
Tierra C	5.31	28.20
Hueycantenango	5.3	28.09
Jaleaca de Catalán	4.71	22.18
Ocotito	4.28	18.32
Mezcala	4.27	18.23
Nejapa	3.75	14.06
Colotlipa	3.5	12.25
Acatlán	3.45	11.90
Chilapa	3.41	11.63
Ayahualulco	3.32	11.02
Zitlala	3.26	10.63
Pochahuizco	2.81	7.90
Xochipala	2.81	7.90
Quechultenango	2.67	7.13
Chichihualco	2.47	6.10
Huitziltepec	2.1	4.41
Apango	2.05	4.20
Mazatlán	1.85	3.42
Mochitlán	1.36	1.85
Petaquillas	1.13	1.28

Continúa...

<i>Ciudad</i>	<i>Distancia (d)</i>	<i>d²</i>
Atliaca	1.04	1.08
Zumpango	0.9	0.81
Tixtla de Guerrero	0.8	0.64
Chilpancingo de los Bravo	0.6	0.36
Sumatoria	85.28	343.32

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

Para el caso de la región Centro:

$$\delta = \sqrt{\frac{343.3}{27}}$$

$$\delta = \sqrt{12.7}$$

$$\delta = 3.6$$

- d.* *Radio dinámico.* A diferencia de la medida anterior, éste toma en cuenta la importancia demográfica o económica de cada asentamiento (por ejemplo, el número de habitantes o población ocupada) (Tabla 5, Figura 1). De acuerdo con Carrera et al. (1998), el radio dinámico es a la desviación típica de la distancia lo que el centro de gravedad ponderado es al centro de gravedad simple. El radio dinámico se calcula de la manera siguiente:

$$r = \sqrt{\frac{\sum wd^2}{\sum w}}$$

Donde:

r = radio dinámico

d = distancia entre cada asentamiento y el centro de gravedad simple

w = factor de ponderación

Tabla 5. Región Centro: radio dinámico

<i>Ciudad</i>	<i>Habitantes (w)</i>	<i>Distancia (d)</i>	d^2	d^2w
Chilpancingo de los Bravo	225 728	0.6	0.36	81 262.08
Chilapa	33 783	3.41	11.63	392 896.29
Zumpango	27 944	0.9	0.81	22 634.64
Tixtla de Guerrero	24 920	0.8	0.64	15 948.8
Petaquillas	12 544	1.13	1.28	16 056.32
Chichihualco	12 483	2.47	6.1	76 146.3
Tierra Colorada	12 262	5.31	28.2	345 788.4
Tlacotepec	8 442	6.13	37.58	317 250.36
Quechultenango	7 214	2.67	7.13	51 435.82
Ocotito	6 757	4.28	18.32	123 788.24
Atliaca	6 321	1.04	1.08	6 826.68
Mazatlán	6 093	1.85	3.42	20 838.06
Zitlala	6 077	3.26	10.63	64 598.51
Mochitlán	6 052	1.36	1.85	11 196.2
Mezcala	5 654	4.27	18.23	103 072.42
Apango	4 917	2.05	4.2	20 651.4
Huitziltepec	4 534	2.1	4.41	19 994.94
Nejapa	4 361	3.75	14.06	61 315.66
Ahuacuotzingo	4 072	6.28	39.44	160 599.68
Ayahualulco	3 855	3.32	11.02	42 482.1
Colotlipa	3 815	3.5	12.25	46 733.75
Acatlán	3 719	3.45	11.9	44 256.1
Xochipala	3 444	2.81	7.9	27 207.6
Yextla	3 262	5.72	32.72	106 732.64

Continúa...

Ciudad	Habitantes (<i>w</i>)	Distancia (<i>d</i>)	<i>d</i> ²	<i>d</i> ² <i>w</i>
Pochahuizco	3 167	2.81	7.9	25 019.3
Jaleaca de Catalán	2 359	4.71	22.18	52 322.62
Hueycantenango	2 084	5.3	28.09	58 539.56
Sumatoria	445 863	85.28	343.33	2 315 594.47

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

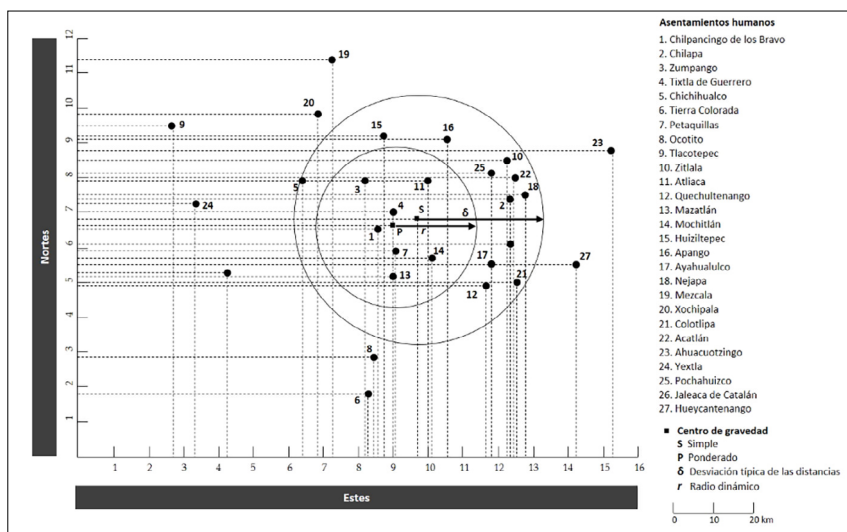
Para el caso de la región Centro:

$$r = \sqrt{\frac{2315594.47}{445863}}$$

$$r = 19$$

$$r = 2.3$$

Figura 2. Región Centro: centros de gravedad, desviación típica de las distancias y radio dinámico



Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

- e. *Índice de primacía.* Expresa el porcentaje que representa la población de la ciudad con mayor número de habitantes respecto a la suma de las poblaciones, correspondientes a los cuatro asentamientos humanos mayores de la misma. El índice tiene valores comprendidos entre 25 y 100; este último denota espacios con macrocefalia (una ciudad de primer orden); en tanto, el primer valor advierte policentrismo extremo (Tabla 6). Este índice se calcula con la fórmula siguiente:

$$IP = \left(\frac{P1}{\sum P1} \right) \cdot 100$$

Donde:

IP= índice de primacía

P1= población de la ciudad con mayor número de habitantes

$\sum P1$ = sumatoria de la población de las cuatro ciudades mayores

Tabla 6. Región Centro: índice de primacía

<i>Ciudad</i>	<i>Habitantes</i>
Chilpancingo	225 728
Chilapa	33 783
Zumpango	27 944
Tixtla de Guerrero	24 920
Sumatoria	312 375
IP	72.26

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

- f. *Regla rango-tamaño.* Ésta da pauta para comparar la distribución jerárquica de las ciudades de un sistema en la realidad con su distribución ideal. Parte de la relación inversa observada entre el orden de cualquier ciudad dentro de un conjunto urbano (primera, segunda, tercera) y su población. La población de orden o rango (r) es $1/r$ el tamaño de la población de la ciudad más poblada. La ciudad situada en segundo lugar posee aproximadamente un $1/2$ de la población de la primera, la tercera $1/3$, la cuarta $1/4$ y así sucesivamente. De este modo, los tamaños de todas las ciudades del sistema aparecen vinculados entre sí y ponen de manifiesto las interrelaciones existentes entre ellas (Tabla 7). El rango-tamaño se calcula con la fórmula siguiente:

$$Pr = \frac{P1}{r}$$

Donde:

Pr = es la población de la ciudad de rango r

$P1$ = es la población de la ciudad principal

r = es el rango de la ciudad cuya población se pretende averiguar

Tabla 7. Región Centro: regla rango-tamaño

<i>Ciudad</i>	<i>Rango</i>	<i>Población observada (Po)</i>	<i>Población esperada (Pe)</i>	<i>Porcentaje de desviación</i>
Chilpancingo de los Bravo	1	225 728	225 728	0
Chilapa	2	33 783	112 864	-70.07
Zumpango	3	27 944	75 243	-62.86
Tixtla de Guerrero	4	24 920	56 432	-55.84

Continúa...

<i>Ciudad</i>	<i>Rango</i>	<i>Población observada (Po)</i>	<i>Población esperada (Pe)</i>	<i>Porcentaje de desviación</i>
Petaquillas	5	12 544	45 146	-72.21
Chichihualco	6	12 483	37 621	-66.82
Tierra Colorada	7	12 262	32 247	-61.97
Tlacotepec	8	8 442	28 216	-70.08
Quechultenango	9	7 214	25 081	-71.24
Ocotito	10	6 757	22 573	-70.07
Atliaca	11	6 321	20 521	-69.20
Mazatlán	12	6 093	18 811	-67.61
Zitlala	13	6 077	17 364	-65.00
Mochitlán	14	6 052	16 123	-62.46
Mezcala	15	5 654	15 049	-62.43
Apango	16	4 917	14 108	-65.15
Huitziltepec	17	4 534	13 278	-65.85
Nejapa	18	4 361	12 540	-65.22
Ahuacuotzingo	19	4 072	11 880	-65.73
Ayahualulco	20	3 855	11 286	-65.84
Colotlipa	21	3 815	10 749	-64.51
Acatlán	22	3 719	10 260	-63.75
Xochipala	23	3 444	9 814	-64.91
Yextla	24	3 262	9 405	-65.32
Pochahuizco	25	3 167	9 029	-64.92
Jaleaca de Catalán	26	2 359	8 682	-72.83
Hueycantenango	27	2 084	8 360	-75.07

Nota: de acuerdo con Unikel et al. (1974), las localidades urbanas son aquellas que tienen más de 15 000 habitantes; la condición mixta urbana corresponde a los asentamientos cuya población fluctúa entre 10 000 y 15 000 personas; la mixta rural, entre 5 000 y 10 000, y la rural a los sitios con menos de 5 000 personas.

Con base en estos criterios también se puede clasificar a las localidades de la región Centro en función de su gradiente urbano-rural.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

SISTEMA URBANO-REGIONAL

En el siguiente apartado se presentan el sustento conceptual y metodológico de los indicadores seleccionados para examinar el papel que desempeña cada una de las demarcaciones que conforman a la región Centro. Se tomó en cuenta: 1) la densidad demográfica, 2) la tasa de crecimiento poblacional, 3) el nivel de urbanización, 4) la concentración territorial de las actividades terciarias, 5) la concentración poblacional del poder adquisitivo y 6) Índice de Engel (Índice de superficie vial). Se optó por estos cinco indicadores debido a su relevancia para identificar las características del sistema urbano-regional. Asimismo, la interpretación conjunta de esos cinco indicadores se hizo mediante un Índice de consolidación urbano-regional que se propone con base en los planteamientos de Palacio et al. (2004).

- a. *Densidad de población.* Establece la relación que existe entre el número de habitantes de una jurisdicción y su extensión territorial. Este indicador es útil para estimar el grado de ocupación que presenta un espacio concreto; dicho de otra manera, refleja la presión demográfica sobre el suelo de una demarcación. En términos generales, una densidad alta, mayor al doble del valor regional, denota un proceso de poblamiento intenso y presión significativa sobre los recursos naturales, situación que puede deberse a la presencia de un asentamiento urbano importante en el contexto regional. Por el contrario, densidades bajas advierten un escaso o nulo poblamiento (Palacio et al., 2004) (Tabla 8). La fórmula para calcular la densidad demográfica es:

$$DP_{jt} = \frac{PO_{jt}}{ET_j}$$

Donde:

DP_{jt} = relación que existe entre la población de la unidad espacial de referencia j y la extensión territorial de ésta, en el año t

PO_{jt} = habitantes de la unidad espacial de referencia j , en el año t

ET_j = extensión territorial de la unidad espacial de referencia j

Tabla 8. Región Centro: densidad de población, 2020

<i>Municipio</i>	<i>ET_j</i>	<i>PO_{jt}</i>	<i>DP_{jt}</i>
Chilapa	752.67	123 722	164.38
José Joaquín Herrera	133.41	18 381	137.78
Chilpancingo	2 180.94	283 354	129.92
Tixtla	382.83	43 171	112.77
Zitlala	301.36	21 977	72.93
Juan R. Escudero	409.07	26 093	63.79
Quechultenango	836.37	36 143	43.21
Eduardo Neri	1 257.38	53 126	42.25
Leonardo Bravo	719.24	26 357	36.65
Mártir de Cuilapa	624.94	18 613	29.78
Ahuacuotzingo	870.79	25 205	28.94
Mochitlán	522.17	12 402	23.75
General Heliodoro Castillo	1 703.76	37 254	21.87

Fuente: elaboración con base en INEGI (2020).

- b. *Tasa de crecimiento poblacional.* Expone las transformaciones ocurridas en la población de una demarcación específica, debido, principalmente, a tres fenómenos demográficos: migración, mortalidad y fecundidad. De acuerdo

con Palacio et al. (2004), para fines de la planeación gubernamental, este indicador da pauta para definir políticas públicas y de población relacionadas con la atención de necesidades actuales y demandas futuras, en materia económica, social y política (empleo, alimentación, servicios de salud y vivienda, entre otros). La tasa de crecimiento requiere de la operación siguiente (Tabla 9):

$$TCP_{jt1-t2} = \frac{PO_{jt2}}{PO_{jt1}} - 1 * 100$$

Donde:

TCP_{jt1-t2} = es el porcentaje que representa el incremento de población de la unidad espacial de referencia j, en el periodo t1-t2

PO_{jt1} = habitantes de la unidad espacial de referencia j, en el año inicial t1

PO_{jt2} = habitantes de la unidad espacial de referencia j, en el año final t2

Tabla 9. Región Centro: tasa de crecimiento poblacional, 1990-2020

<i>Municipio</i>	<i>PO_{jt1}</i>	<i>PO_{jt2}</i>	<i>TCP_{jt1-t2}</i>
Chilpancingo	98 266	283 354	188.35
Eduardo Neri	27 643	53 126	92.19
Chilapa	73 335	123 722	68.71
Tixtla	25 795	43 171	67.36
Mártir de Cuilapan	11 379	18 613	63.57

Continúa...

<i>Municipio</i>	<i>POjt1</i>	<i>POjt2</i>	<i>TCPjt1-t2</i>
Quechultenango	22 275	36 143	62.26
Zitlala	13 629	21 977	61.25
Ahuacuotzingo	15 632	25 205	61.24
Leonardo Bravo	16 449	26 357	60.23
General Heliodoro Castillo	24 606	37 254	51.40
Mochitlán	8 770	12 402	41.41
Juan R. Escudero	18 623	26 093	40.11
José Joaquín Herrera*	15 678	18 381	17.24

* Se calculó la tasa correspondiente al período 2010-2020, debido a que este municipio se creó en 2003.
Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

- c. *Nivel de urbanización.* Este indicador muestra la proporción de personas que vive en la cabecera municipal respecto al total de habitantes de la demarcación. De acuerdo con la literatura especializada, el nivel de urbanización da pauta para conocer la presión que ejerce el asentamiento más importante de una jurisdicción sobre los recursos naturales, así como su papel en la dinámica socioterritorial de la misma. Cuanto más alto es el valor de este indicador mayor es la demanda de recursos para satisfacer las necesidades básicas del asentamiento urbano en cuestión, lo que, con frecuencia, propicia el deterioro del entorno físico (Tabla 10). La fórmula para calcular este indicador se muestra a continuación.

$$NU_{jt} = \frac{PU_{jt}}{PT_{jt}} * 100$$

Donde:

NU_{jt} = es el porcentaje que representa la población de la unidad espacial de referencia j que habita en cabeceras municipales con respecto a la población total, en el tiempo t

PU_{jt} = habitantes de la cabecera municipal, en la unidad espacial de referencia j , en el tiempo t

PT_{jt} = habitantes de la unidad espacial de referencia j , en el tiempo t

Tabla 10. Región Centro: nivel de urbanización, 2020

<i>Municipio</i>	PT_{jt}	PU_{jt}	NU_{jt}
Chilpancingo	283 354	225 728	79.66
Tixtla	43 171	24 920	57.72
Eduardo Neri	53 126	27 944	52.60
Mochitlán	12 402	6 052	48.80
Leonardo Bravo	26 357	12 483	47.36
Juan R. Escudero	26 093	12 262	46.99
Zitlala	21 977	6 077	27.65
Chilapa	123 722	33 783	27.31
Mártir de Cuilapan	18 613	4 917	26.42
General Heliodoro Castillo	37 254	8 442	22.66
Quechultenango	36 143	7 214	19.96
Ahuacuotzingo	25 205	4 072	16.16
José Joaquín Herrera	18 381	2 084	11.34

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

- d. Concentración territorial de las actividades terciarias.* Este indicador permite identificar la importancia regional de los municipios, debido a que existe una relación significativa entre la cantidad de población ocupada en el

sector terciario, o bien el número de establecimientos relacionados con éste, y la relevancia económica de los asentamientos humanos que alberga; una alta concentración de la población ocupada en actividades terciarias pone de manifiesto la presencia de unidades territoriales con ciudades que operan como lugares centrales (Tabla 11). Existen dos formas para calcular este indicador.

$$CTT_{jt} = \frac{POT_{jt}}{POT_{kt}} * 100$$

CTT_{jt} = porcentaje que representa la población ocupada en el sector terciario de la unidad espacial de referencia j, respecto a la población ocupada en ese sector de la región k, en el año t

POT_{jt} = población ocupada en el sector terciario, en la unidad espacial de referencia j, en el año t

POT_{kt} = población ocupada en el sector terciario, en la región k, en el año t

$$CTT_{jt} = \frac{ET_{jt}}{ET_{kt}} * 100$$

CTT_{jt} = porcentaje que representan los establecimientos del sector terciario de la unidad espacial de referencia j, respecto a los establecimientos de ese sector en la región k, en el año t

ET_{jt} = establecimientos del sector terciario, en la unidad espacial de referencia j, en el año t

ET_{kt} = establecimientos del sector terciario, en la región k, en el año t

Tabla 11. Región Centro: concentración territorial de las actividades terciarias

<i>Región Centro</i>	ET_{jt}	CTT_{jt}
Chilpancingo de los Bravo	89 905	55.90
Chilapa de Álvarez	27 372	17.02
Eduardo Neri	12 215	7.60
Tixtla de Guerrero	11 502	7.15
Juan R. Escudero	4 626	2.88
Quechultenango	3 595	2.23
Mochitlán	2 195	1.36
General Heliodoro Castillo	2 156	1.34
Leonardo Bravo	1 849	1.15
Zitlala	1 809	1.12
Mártir de Cuilapan	1 649	1.03
Ahuacuotzingo	1 113	0.69
José Joaquín de Herrera	845	0.53
Total	160 831	100.00

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

- e. *Concentración poblacional del poder adquisitivo.* Este indicador posibilita inferir el dinamismo de la actividad económica a nivel municipal (Tabla 12). De acuerdo con Palacio et al. (2004), debido a la falta de “disponibilidad seriada de las estadísticas alusivas a este indicador incitaron su aprehensión en este subsistema bajo la connotación interpretativa siguiente: mientras mayor es el porcentaje de población que recibe mayores ingresos, mayor es el nivel de desarrollo económico de un municipio” (p. 50). La concentración poblacional del poder adquisitivo se determina con la operación siguiente:

f.

$$CPPA_{jt} = \frac{PO_{jt>2smm}}{PO_{jt}} * 100$$

Donde:

$CPPA_{jt}$ = concentración poblacional del poder adquisitivo de la unidad espacial de referencia j, en el año t

$PO_{jt>2smm}$ = población ocupada que percibe más de dos salarios mínimos, en la unidad espacial de referencia j, en el año t

PO_{jt} = población ocupada en una unidad espacial de referencia, en el año t

Tabla 12. Región Centro: concentración regional del poder adquisitivo

<i>Municipio</i>	<i>PO_{jt}</i>	<i>PO_{jt >2smm}</i>	<i>CPPA_{jt}</i>
Chilpancingo	109 132	60 169	55.13
Tixtla de Guerrero	15 119	6 306	41.71
Eduardo Neri	16 822	6 957	41.36
Mochitlán	3 697	1 341	36.27
Juan R. Escudero	7 360	2 257	30.67
Quechultenango	6 659	1 865	28.01
Mártir de Cuilapan	6 146	1 246	20.27
Chilapa de Álvarez	37 599	7 547	20.07
Leonardo Bravo	7 330	1 063	14.50

Continúa...

<i>Municipio</i>	PO_{jt}	$PO_{jt} > 2smm$	$CPPA_{jt}$
General Heliodoro Castillo	7 731	1 048	13.56
Ahuacuotzingo	5 084	629	12.37
Zitlala	5 805	578	9.96
José Joaquín de Herrera	2 685	254	9.46

Nota: se utilizaron los datos de 2015 debido a la falta de información más reciente relacionada con la población ocupada que percibe más de dos salarios mínimos en el Censo 2020.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2015).

- g. *Índice de Engel (Índice de superficie vial)*. A diferencia de la densidad vial, este indicador toma en cuenta no sólo la extensión territorial de la jurisdicción evaluada, sino también el número de habitantes de ésta. Por lo tanto, en función de estas dos variables, este índice denota la capacidad que posee cada demarcación para garantizar la movilidad al interior de la misma. En ese orden de ideas, cuando el índice tiene un valor bajo, la capacidad de la infraestructura vial para garantizar la circulación e intercambio de bienes y personas es reducida; en tanto, un valor alto advierte un escenario opuesto (Tabla 13). El índice de Engel se calcula de la manera siguiente:

$$IE_j = \frac{ICkm_j}{\sqrt{ET_j * PO_j}} * 100$$

Donde:

IE_j = Índice de Engel de la unidad espacial de referencia j

$ICkm_j$ = infraestructura carretera de la unidad espacial de referencia j, en kilómetros

ET_j = Extensión territorial de la unidad espacial de referencia j, en kilómetros cuadrados

PO_j = Población de la unidad espacial de referencia j

Tabla 13. Región Centro: índice de Engel, 2020

<i>Municipio</i>	<i>IC_{kmj}</i>	<i>ET_j</i>	<i>PO_j</i>	<i>IE_j</i>
General Heliodoro Castillo	1 158.28	1 703.76	37 254	14.54
Ahuacuotzingo	549.35	870.79	25 205	11.73
José Joaquín Herrera	129.2	133.41	18 381	8.25
Leonardo Bravo	349.78	719.24	26 357	8.03
Mochitlán	197.92	522.17	12 402	7.78
Zitlala	198.71	301.36	21 977	7.72
Quechultenango	422.3	836.37	36 143	7.68
Mártir de Cuilapan	256.13	624.94	18 613	7.51
Chilapa	690.98	752.67	123 722	7.16
Juan R. Escudero	208.81	409.07	26 093	6.39
Eduardo Neri	456.39	1 257.38	53 126	5.58
Tixtla	173.46	382.83	43 171	4.27
Chilpancingo	974.07	2 180.94	283 354	3.92

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

- g. *Índice de consolidación urbano-regional.* Con base en los planteamientos de Palacio et al. (2004), se pensó en la construcción de este índice con el objetivo de ponderar la influencia que ejerce el sistema de asentamientos urbanos de la región Centro sobre la dinámica socioterritorial de las diferentes demarcaciones que la integran. En ese orden de ideas, la selección de los indicadores empleados se realizó a partir de dos criterios básicos: 1)

la disponibilidad de información estadística oficial y 2) la importancia de cada indicador como medida sintética de lo que ocurre en la región, en materia demográfica, urbana y económica. El índice se construyó mediante la técnica del Valor Índice Medio (VIM). La secuencia metodológica es la siguiente:

- 1) Construir una matriz con los indicadores para cada municipio analizado (Tabla 14).
- 2) Calcular la media aritmética y la desviación típica del conjunto de datos asociado con cada indicador.
- 3) Tipificar los valores originales de la matriz (se resta la media aritmética a los valores de los indicadores y el resultado se divide entre la desviación típica) (Tabla 15).
- 4) Calificar los valores tipificados con base en los rangos calculados para el conjunto de datos (Tabla 16 y 17).
- 5) Calcular el VIM (resulta del promedio de los cinco valores tipificados que caracterizan a cada municipio) (Tabla 18).
- 6) Calificación cualitativa del VIM con base en los rangos calculados para éste (Figura 3).

Tabla 14. Región Centro: matriz de indicadores

<i>Municipio</i>	DP_{jt}	TCP_{jt1-t2}	NU_{jt}	CTT_{jt}	$CPPA_{jt}$	IE_j
Ahuacuotzingo	28.94	61.24	16.16	0.69	12.37	11.73
Chilapa	164.38	68.71	27.31	17.02	20.07	7.16
Chilpancingo	129.92	188.35	79.66	55.9	55.13	3.92
Eduardo Neri	42.25	92.19	52.6	7.6	41.36	5.58
General Heliodoro Castillo	21.87	51.4	22.66	1.34	13.56	14.54
José Joaquín Herrera	137.78	17.24	11.34	0.53	9.46	8.25

Continúa...

<i>Municipio</i>	DP_{jt}	TCP_{jt1-t2}	NU_{jt}	CTT_{jt}	$CPPA_{jt}$	IE_j
Juan R. Escudero	63.79	40.11	46.99	2.88	30.67	6.39
Leonardo Bravo	36.65	60.23	47.36	1.15	14.5	8.03
Mártir de Cuilapa	29.78	63.57	26.42	1.03	20.27	7.51
Mochitlán	23.75	41.41	48.8	1.36	36.27	7.78
Quechultenango	43.21	62.26	19.96	2.23	28.01	7.68
Tixtla	112.77	67.36	57.72	7.15	41.71	4.27
Zitlala	72.93	61.25	27.65	1.12	9.96	7.72
Promedio	69.85	67.33	37.28	7.69	25.64	7.74
Desviación típica	47.50	38.83	19.05	14.61	13.96	2.72

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

Tabla 15. Región Centro: indicadores tipificados

<i>Municipio</i>	DP_{jt}	TCP_{jt1-t2}	NU_{jt}	CTT_{jt}	$CPPA_{jt}$	IE_j
Ahuacuotzingo	-0.86	-0.16	-1.11	-0.48	-0.95	1.47
Chilapa	1.99	0.04	-0.52	0.64	-0.40	-0.21
Chilpancingo	1.26	3.12	2.22	3.30	2.11	-1.40
Eduardo Neri	-0.58	0.64	0.80	-0.01	1.13	-0.79
General Heliodoro Castillo	-1.01	-0.41	-0.77	-0.43	-0.87	2.50
José Joaquín Herrera	1.43	-1.29	-1.36	-0.49	-1.16	0.19
Juan R. Escudero	-0.13	-0.70	0.51	-0.33	0.36	-0.50
Leonardo Bravo	-0.70	-0.18	0.53	-0.45	-0.80	0.11
Mártir de Cuilapa	-0.84	-0.10	-0.57	-0.46	-0.38	-0.08

Continúa...

<i>Municipio</i>	DP_{jt}	TCP_{jt1-t2}	NU_{jt}	CTT_{jt}	$CPPA_{jt}$	IE_j
Mochitlán	-0.97	-0.67	0.60	-0.43	0.76	0.02
Quechultenango	-0.56	-0.13	-0.91	-0.37	0.17	-0.02
Tixtla	0.90	0.00	1.07	-0.04	1.15	-1.28
Zitlala	0.06	-0.16	-0.51	-0.45	-1.12	-0.01

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

Tabla 16. “Calificaciones” para valores tipificados

<i>Calificación</i>	<i>Rango de aplicación</i>
1	Menor a -1.0
2	Entre -1.0 y -0.50
3	Entre -0.51 y 0.50
4	Entre 0.51 y 1.0
5	Mayor a 1.0

Fuente: elaboración propia con base García de León (2006).

Tabla 17. Región Centro: calificación de los indicadores utilizados

<i>Municipio</i>	DP_{jt}	TCP_{jt1-t2}	NU_{jt}	CTT_{jt}	$CPPA_{jt}$	IE_j
Ahuacuotzingo	2	3	1	3	2	5
Chilapa	5	3	2	4	3	3
Chilpancingo	5	5	5	5	5	1
Eduardo Neri	2	4	4	3	5	2

Continúa...

<i>Municipio</i>	DP_{jt}	TCP_{jt1-t2}	NU_{jt}	CTT_{jt}	$CPPA_{jt}$	IE_j
General Heliodoro Castillo	1	3	2	3	2	5
José Joaquín Herrera	5	1	1	3	1	3
Juan R. Escudero	3	2	4	3	3	3
Leonardo Bravo	2	3	4	3	2	3
Mártir de Cuilapa	2	3	2	3	3	3
Mochitlán	2	2	4	3	4	3
Quechultenango	2	3	2	3	3	3
Tixtla	4	3	5	3	5	1
Zitlala	3	3	2	3	1	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Región Centro: valor índice medio

<i>Municipio</i>	<i>VIM</i>
Ahuacuotzingo	2.67
Chilapa	3.33
Chilpancingo	4.33
Eduardo Neri	3.33
General Heliodoro Castillo	2.67
José Joaquín Herrera	2.33
Juan R. Escudero	3.00
Leonardo Bravo	2.83
Mártir de Cuilapa	2.67
Mochitlán	3.00

Continúa...

<i>Municipio</i>	<i>VIM</i>
Quechultenango	2.67
Tixtla	3.50
Zitlala	2.50

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

De acuerdo con las pautas conceptuales y metodológicas de la presente investigación, los asentamientos de la región Centro se distribuyen de manera aleatoria (RN 1.71); no obstante, puede observarse una mayor concentración de localidades en la sección oriental del área de estudio (63% del total de las localidades se ubica en esta parte). Chilpancingo es la ciudad más importante, el índice de primacía de éste advierte macrocefalia urbana significativa (IP 72.26%). De esta manera, el centro de gravedad simple da pauta para identificar que en la parte este existe una cantidad sustancial de localidades del sistema urbano; aproximadamente, 70% de éstas se ubican dentro de la desviación típica de las distancias. En tanto, el centro de gravedad ponderado, el cual se localiza muy cercano a la capital de la entidad debido a la relevancia demográfica de esta ciudad, advierte un radio de acción de 20 km. Dentro de éste, se encuentra un total de ocho localidades.

La densidad de población a nivel regional es de 67 habitantes por kilómetro cuadrado; esto supera al valor de la población relativa del estado de Guerrero (48 personas por kilómetro cuadrado). En la región Centro existen varias demarcaciones cuyos valores sugieren procesos de poblamiento intensos y, consecuentemente, presión significativa sobre sus recursos naturales; tal es el caso de Chilapa, José Joaquín Herrera, Chilpancingo, Tixtla y Zitlala, con montos por encima de la media regional. En contraste, sólo Mártir de Cuilapa, Mochitlán, Ahuacutzingo y General Heliodoro Castillo tienen una población relativa baja, menor a 30 habitantes por kilómetro cuadrado.

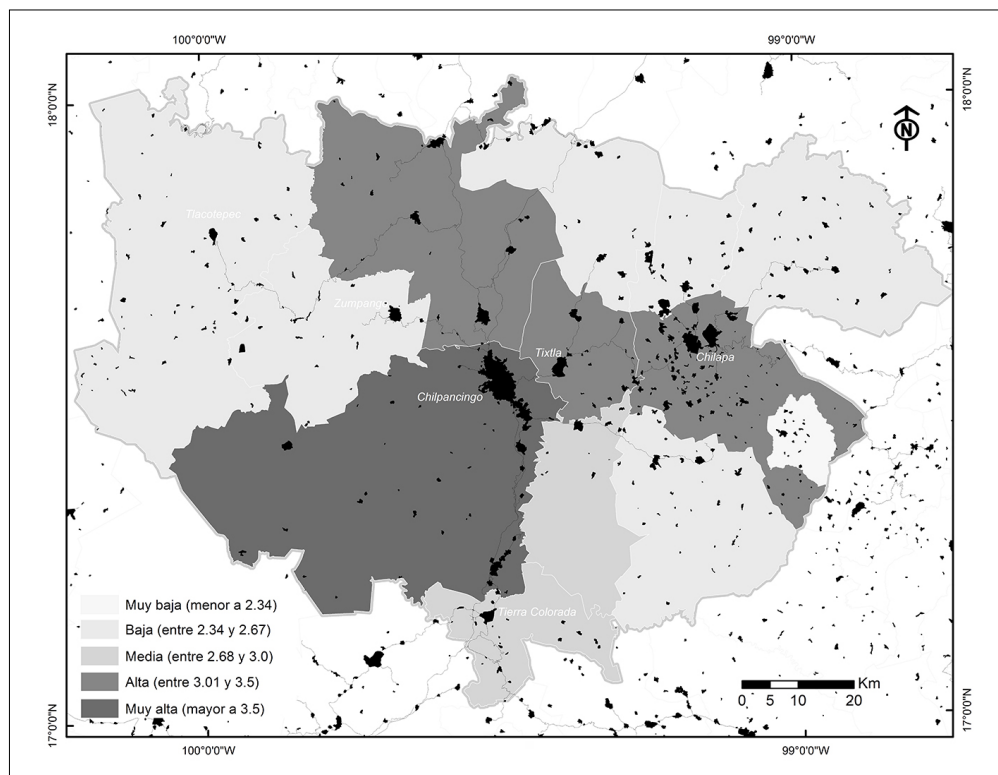
En cuanto a la tasa de crecimiento poblacional, en el periodo comprendido entre 1990 y 2020, más de 70% de los municipios reportan valores mayores a 50%; éstos son, en orden de importancia: Chilpancingo, Eduardo Neri, Chilapa, Tixtla, Mártir

de Cuilapan, Quechultenango, Zitlala, Ahuacuotzingo, Leonardo Bravo y General Heliodoro Castillo. Por su parte, el nivel de urbanización confirma que las cabeceras municipales figuran como los asentamientos humanos con concentración importante de habitantes; sobre todo, las de los municipios de Chilpancingo, Tixtla, Eduardo Neri, Mochitlán, Leonardo Bravo y Juan R. Escudero, con valores mayores a 40 por ciento.

La concentración territorial de las actividades terciarias puso de manifiesto la existencia de municipios con asentamientos humanos que operan como lugares centrales en esta región de Guerrero; tal es el caso de Chilpancingo de los Bravo, Chilapa de Álvarez, Eduardo Neri y Tixtla de Guerrero. La concentración poblacional del poder adquisitivo coloca a seis municipios por arriba de la media regional; no obstante, las demarcaciones que destacan por la proporción de población ocupada que percibe más de dos salarios mínimos mensuales son: Chilpancingo (55.13%), Tixtla (41.71%) y Eduardo Neri (41.36%). Por otra parte, aproximadamente, en la mitad de las jurisdicciones de la región más de 70% de la población ocupada percibe menos de dos salarios mínimos mensuales; entre ellas General Heliodoro Castillo, Ahuacuotzingo, Zitlala y José Joaquín de Herrera.

De acuerdo con el Índice de Engel, en la región, los municipios que cuentan con capacidad considerable para garantizar el flujo de personas y bienes son: General Heliodoro Castillo y Ahuacuotzingo. En ese sentido, la cantidad de habitantes y la extensión territorial reduce la capacidad de la infraestructura carretera en la mayor parte la región Centro de Guerrero, sobre todo en Chilapa (7.16%), Juan R. Escudero (6.39%), Eduardo Neri (5.58%), Tixtla (4.27%) y Chilpancingo (3.92%). En el caso de este último municipio, el valor reportado se relaciona con la presencia de la segunda ciudad con más habitantes del estado de Guerrero.

Mapa 2. Región Centro: índice de consolidación urbano-regional



Fuente: elaboración con base en INEGI (2020).

El comportamiento de cada uno de estos indicadores se sintetizó mediante el cálculo del índice de consolidación urbano-regional, el cual permitió clasificar a las jurisdicciones que integran la región Centro, en función de su posición respecto a la media regional. En ese orden de ideas, el municipio de Chilpancingo se ubica muy por arriba de la media; el único indicador con calificación muy baja fue el índice de Engel. La condición alta corresponde a los municipios de Tixtla, Eduardo Neri y Chilapa, los cuales alcanzaron como puntaje final valores comprendidos entre 3.01 y 3.5 puntos. En condición media están los municipios de Juan R. Escudero y Mochitlán. En contraste, el conjunto de jurisdicciones por debajo de la media es el más numeroso, en total siete municipios; seis en condición baja y sólo uno, muy baja.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En relación con la morfología del sistema urbano, los resultados de la presente investigación confirman que la región Centro tiene carácter monocéntrico; en ella, la ciudad de Chilpancingo posee relevancia socioeconómica superior a la de las demás cabeceras municipales como resultado de un esquema regional basado en la concentración de población en aquellos sitios como función político-administrativa o con actividad terciaria relevante. En este sistema de ciudades, los asentamientos ubicados al oriente de la capital, entre ellos Petaquillas, Tixtla, Mochitlán, Quechultenango, Colotlipa y Chilapa, muestran mayor cohesión territorial. En tanto, las localidades pertenecientes a las demarcaciones situadas en el extremo occidental y oriental, como General Heliodoro Castillo, Leonardo Bravo y Ahuacuotzingo, muestran una menor integración.

El cálculo tanto del centro de gravedad como del centro de gravedad ponderado corroboran que el segmento centro-oriente de la región aglutina la mayor cantidad de asentamientos humanos. En buena medida, como se señaló en el párrafo precedente, esto se debe al papel que desempeñan algunas de las demarcaciones en la dinámica económico-regional; tal es el caso de Chilpancingo, Chilapa de Álvarez, Eduardo Neri, Tixtla de Guerrero, Juan R. Escudero y Quechultenango. Los valores de la desviación típica de las distancias y el radio dinámico reafirman este patrón de concentración territorial. En ese sentido, estas mediciones pueden ser tomadas como elementos de referencia en la planificación del Centro de Guerrero, sobre todo en materia de estrategias orientadas a la búsqueda de una distribución eficaz de servicios e infraestructura. No obstante, se requiere ponderar más elementos que arrojen luz sobre la función y la interacción que existe entre los diferentes asentamientos. Asimismo, podría resultar interesante ponderar el centro de gravedad con base en datos de la actividad comercial y de servicios de cada sitio, así como a partir del ingreso per cápita, aunque esto implica un reto metodológico importante debido a la falta de información estadística oficial que pueda servir a tales fines.

Por lo que respecta al sistema urbano-regional, los indicadores utilizados permitieron identificar el papel de cada uno de los municipios; si bien se requiere de un análisis con mayor detalle territorial basado en la información por localidades, la densidad demográfica, la tasa de crecimiento poblacional, el nivel de urbanización, la concentración territorial de las actividades terciarias, la concentración poblacional

del poder adquisitivo y el índice de Engel proporcionan elementos para inferir la relevancia socioeconómica que las ciudades tienen al interior de las demarcaciones que las circunscriben y, en algunos casos, a nivel regional. Esto fue evidente en el caso de aquellas jurisdicciones con valores por arriba de la media regional, como Chilpancingo, Eduardo Neri, Tixtla y Chilapa; tal y como reveló el índice de consolidación urbano-regional propuesto en esta investigación.

Otro aspecto sobresaliente es la presencia de indicadores con valores elevados en un número importante de las jurisdicciones, lo que sugiere una presión significativa sobre los recursos naturales de la región, así como una alta demanda de infraestructura y servicios en la misma. Por lo tanto, existen desafíos sustanciales en materia de planeación urbana y regional; probablemente, uno de los más apremiantes tiene que ver con la articulación que existe a nivel municipal, ya que, de acuerdo con el índice de Engel, no se cuenta con la infraestructura carretera suficiente que garantice conectar de manera eficiente a las localidades que albergan cada una de ellas. De hecho, las demarcaciones con mayor relevancia socioeconómica obtuvieron valores muy bajos; es el caso de Chilapa, J. R. Escudero, Eduardo Neri, Tixtla y Chilpancingo.

CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como finalidad analizar algunas de las características de los principales asentamientos humanos de la región Centro de Guerrero, así como la relación de estos rasgos con el papel que desempeñan los municipios a nivel regional. En ese sentido, los cálculos realizados reflejan las características más notables del sistema de ciudades de la región; en especial, la distribución territorial de los asentamientos humanos más poblados, los puntos en torno a los cuales tienden a aglutinarse gran parte de esos sitios, el área de influencia de los mismos, así como la relevancia demográfica de la ciudad de Chilpancingo. También se examinó el papel que desempeña cada una de las jurisdicciones, con base en cinco indicadores seleccionados debido a su relevancia para evaluar los rasgos del sistema urbano-regional. La interpretación conjunta de esos cinco indicadores se hizo mediante un Índice de consolidación urbano-regional que se elaboró con base en los planteamientos de Palacio et al. (2004), lo que permitió clasificar a los trece municipios que integran la región con base en su relevancia socioeconómica.

Los resultados de la investigación estuvieron restringidos por la información estadística disponible en el país; si bien existen datos de carácter socioeconómico a escala nacional, estatal y municipal, las variables requeridas para examinar la morfología urbana y el sistema urbano-regional no se registran, con mucha frecuencia, a escala local, lo que hace optar por los cálculos a nivel municipal. Esta primera radiografía general de la región Centro, basada en el trabajo en gabinete, requiere ser precisada mediante recorridos en campo y la aplicación de instrumentos *ad hoc* para valorar lo que ocurre en estos asentamientos humanos. No obstante, pese a estas limitantes, los procedimientos descritos y puestos en práctica a lo largo de la presente investigación tienen un carácter valioso para las actividades relacionadas con la planificación regional, como ya se mencionó en la discusión de resultados. Asimismo, son de utilidad a nivel didáctico, sobre todo para aquellos que están interesados en el estudio del territorio desde una perspectiva tradicional que no demande el uso de software especializado para el análisis espacial. Por lo tanto, resultan ideales como ejercicios prácticos para los estudiantes que comienzan a explorar alternativas metodológicas, cuyo fin es ponderar los aspectos más relevantes de un sistema de ciudades y las connotaciones socioeconómicas del mismo.

REFERENCIAS

- Bernal, M. A. (2015). *Análisis y diagnóstico urbano-regional*. https://www.unipiloto.edu.co/descargas/documentos_y_reglamentacion_arquitectura/AnalisisyDiagnosticoUrbanoregionalFINAL.pdf
- Carrera et al. (1998). *Trabajos prácticos en Geografía Humana*. Síntesis.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2013). *Guía análisis del sistema urbano regional para el ordenamiento territorial*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36818/S2014206_es.pdf
- García de León, A. (2006). *Yucatán 1990-2000: evaluación del bienestar municipal y Regional a partir de las condiciones físicas de las Viviendas*. <http://www.eumed.net/jjrr/1/AMECIDER2006/PARTE%201/70%20Armando%20Garcia%20de%20Leon%20Loza.pdf>
- Godoy, R. D. (2003). El sistema urbano en la ordenación del territorio. Estudio de Caso: Departamento del Atlántico. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, XII, 61-82.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos* (Simbad). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Palacio et al. (2004). *Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio*. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/161>
- Sepúlveda, S. Rodríguez, A. y Portilla, M. (2003). *El enfoque territorial del desarrollo rural sostenible*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Unikel, L., Garza, G. y Ruiz Chiapetto, C. (1974). *El desarrollo urbano de México. Diagnóstico y perspectivas*. El Colegio de México.

CAMBIO DE USO DE SUELO Y VARIABILIDAD DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA MICROCUCNA LA COMPAÑÍA, MÉXICO, 1952-2018

*Aurora Guadalupe Martínez Ponce**

*Ricardo Manzano Solís***

*Roberto Franco Plata***

*Denise Soares Freitas****

RESUMEN

Se analizan las tendencias anuales de elementos climáticos como la precipitación, temperatura mínima y máxima mensual de la microcuenca del río La Compañía en su relación con superficies de cambio de uso de suelo. El análisis se realizó con la conformación de 804 ráster mensuales de superficies continuas a través de la prueba estadística Mann Kendall. Por otra parte, se clasificaron imágenes de satélite de 1966 y 2018 y se estimaron los cambios entre las principales coberturas de estos años. En este sentido, con base en los resultados del análisis Man Kendall, se evidenció que no hay presencia de tendencias anuales (a incremento o decremento) en la superficie de La Compañía. Sin embargo, con el estudio estacional fue posible identificar una reducción y desplazamiento en el patrón de precipitación en la microcuenca, así como una amplitud de la temperatura mínima y máxima hacia los meses fríos (enero y febrero), esto incrementa en cantidad respecto a la zona altitudinal de la microcuenca. Se concluye que en la microcuenca La Compañía se están presentando inviernos levemente más calientes con énfasis en las zonas bajas en donde se concentra la mayor extensión de superficie agrícola.

Palabras clave: Uso de suelo, Variabilidad, Estado de México, Precipitación.

* Universidad Autónoma del Estado de México, <https://orcid.org/0000-0001-6990-9747>

** Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.

*** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos individuales. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (IPCC, 2013). Entre las variaciones de forzamiento externo antropogénico están los cambios de uso de suelo. Es decir, el cambio en el uso o manejo de la tierra por los seres humanos, que puede inducir un cambio de la cubierta terrestre (IPCC, 2012).

A nivel mundial, la deforestación incentivada por el cambio de uso de suelo ha incrementado en las últimas décadas. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021), de 2015 a 2020 la superficie total forestal se redujo 10.15 millones de hectáreas por año (FAO, 2015). En México, la tasa neta de deforestación que se estimó en el periodo 2000-2015 fue de 121 mil hectáreas al año (FAO, 2015). La conversión de zonas forestales para agricultura es una de las principales causas de la deforestación en el mundo y en el país (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2018). Al respecto, conviene mencionar que los resultados de análisis en tendencias anuales de temperatura en tierra y mar han demostrado un incremento en los últimos 170 años a nivel mundial (Met Office Hadley Centre, 2023). Lo mismo ocurre con la tendencia al calentamiento en América Latina y el Caribe, evidenciando que la tasa media de aumento de las temperaturas fue de aproximadamente 0.2 °C por década entre 1991 y 2021, frente a 0.1 °C por década registrados entre 1961 y 1990 (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2021).

En cuanto a México, la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2023) reportó que, para 2023 se presentó un déficit de lluvias en todo el país (36.2% debajo del promedio) respecto a lo ocurrido durante 1991 a 2020. En este mismo año, se produjeron temperaturas más cálidas respecto al mismo periodo. El río La Compañía es uno de los afluentes que abastecen la presa de Villa Victoria, Estado de México. Esta presa forma parte del sistema hídrico Cutzamala desde 1944, siendo la principal fuente de abastecimiento de agua para la Ciudad de México y la zona metropolitana del Estado de México. En los últimos 10 años, el nivel del sistema Cutzamala se registró en su menor nivel durante junio de 2021 (IMCO, 2023). Por

una parte, se ha señalado que el factor principal que explica los niveles de 40% de la presa de Villa Victoria en los últimos tres años es el déficit de precipitaciones en la cuenca principal (Conagua, 2024). En este sentido, en la microcuenca del río La Compañía se tiene la necesidad de realizar un análisis de las tendencias de precipitación y temperaturas, debido a que se muestra una reducción del régimen de precipitación. Por otro lado, recientemente se ha registrado evidencia de que el clima en el Estado de México ha presentado fluctuaciones distintas a las registradas en años pasados. Por ello, es necesario evaluar la presencia de posibles alteraciones en los patrones de variables climáticas en la cuenca del río La Compañía, en relación con el uso de suelo.

En este sentido, se ha documentado la relación que tienen los cambios de uso de suelo con cambios en variables climáticas, como la precipitación y temperatura (Onyutha et al., 2021). Un ejemplo de ello son las alteraciones en la variabilidad climática de las zonas urbanas ocasionadas por el cambio de vegetación y suelo desnudo por superficie construida (Ibrahim y Ashaari, 2023). Además, esta problemática se ha asociado con cambios en los patrones de la hidrología superficial en cuencas (Arredondo et al., 2015; Onyutha et al., 2021). En suma, áreas que ocupan cuerpos de agua, como presas y lagos, se consideran un factor regulador de la temperatura del aire y de la humedad atmosférica; asimismo, la superficie con vegetación juega un rol importante en la temperatura media regional (Colunga et al., 2015).

Estudiar la variabilidad del clima regional es de fundamental importancia, ya que de aquí se puede planificar el manejo de recursos naturales de un territorio. En suma, se ha documentado que una distribución irregular y cambios constantes de usos de suelo incrementan la probabilidad de fluctuaciones y alteraciones en la distribución de precipitación y temperatura, tanto local como regional (Kumar et al., 2023). Si se consideran los cambios en el clima a mayor escala, incluyendo la variabilidad estacional, esto podría impactar significativamente en el ambiente y en los procesos hidrosociales.

En definitiva, la variación en cantidad de precipitación, así como en temporalidad puede ocasionar efectos en el suministro de agua en el suelo, estrés hídrico, ocasionando inestabilidad en la estructura del ecosistema (Gu et al., 2016), al igual que se encuentra asociado con la prolongación de sequía y ondas de calor (OMM, 2021). Por esto, es crucial diagnosticar y evaluar cualquier posible alteración en los patrones

de lluvia y temperatura, debido a que estos parámetros son fundamentales para el desarrollo de sectores productivos, como la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, turismo e, inclusive, repercutir en el comportamiento y desarrollo social (Méndez, 2017).

Sin embargo, una manera de implementar el sentido de la prevención y toma de decisiones, orientado a reducir los impactos en los recursos hídricos, es a partir de la investigación de tendencias de variables climáticas a largo plazo (Segundo-Sandoval et al., 2023). De acuerdo con Méndez et al. (2008), una forma de evidenciar los cambios en patrones de precipitación y temperatura es a partir del análisis de tendencias en distintas escalas de tiempo y espacio. Las tendencias son cambios graduales de incremento o decremento en el tiempo de las variables estudiadas, asociadas comúnmente a factores climáticos. El análisis de tendencias de precipitación y temperaturas es posible a partir del enfoque espacio-temporal con la finalidad de comprender los patrones presentados, así como generar predicciones (Pawar et al., 2023).

Adicionalmente, López et al. (2021) recomiendan analizar dichas tendencias espacio-temporales en conjunto con las actividades humanas que indudablemente están vinculadas. Matailo-Ramírez et al. (2023) destacan la necesidad de realizar estudios de tendencias históricas desde las características espaciales y temporales del régimen de precipitación, para reducir problemas de desertificación, pérdida de biodiversidad y eventos atmosféricos extremos relacionados con el cambio climático. Este tipo de estudios se han llevado a cabo en países como China (Guo et al., 2020; Pakistán (Rebi et al., 2023; Ghanim et al., 2023), Turquía (Gumus, 2019) e India (Pawar et al., 2023). En México también se ha desarrollado un interés por realizar este tipo de investigaciones, a nivel país (Méndez et al., 2008) y en diversas regiones, como en zonas áridas del altiplano potosino (Rocha-Escalante, 2022), la cuenca del río Yaqui en el estado de Sonora (Martínez-Austria, 2014), en la subcuenca del río Sila, Estado de México (Segundo-Sandoval et al., 2023) y la cuenca del río Guanajuato, Guanajuato (Arredondo et al., 2015).

En investigaciones realizadas en el mundo se ha reportado la aceptación de técnicas usadas para el análisis de tendencias, como Mann-Kendall (Matailo et al., 2023; Sulaiman et al., 2015; Cruz-González et al., 2023). Por otra parte, la OMM respalda el uso del análisis de tendencias de Mann-Kendall para examinar la tendencia a largo plazo, así como para identificar regiones con tendencias significativas (al

incremento o decremento) a partir de imágenes de superficie continua de precipitación y temperatura, producto de interpolaciones de datos diarios adquiridos de sistemas de estaciones meteorológicas (OMM, 2018).

En México, la principal fuente histórica y actual de datos climáticos son las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Sin embargo, no siempre se dispone de los datos para todas las estaciones. Es decir, las mediciones de estas variables son escasas en tiempo y espacio, ya que las estaciones están distribuidas irregularmente en el territorio. En consecuencia, el usar los datos puntuales de esta red de estaciones podría ser ineficaz para demostrar la distribución espacial de precipitación y temperatura en regiones de interés. Por ello, la aplicación de métodos de interpolación es crucial para generar información de valores continuos que permitan evaluar la variabilidad espacio-temporal y detectar posibles tendencias en precipitación y temperatura.

Respecto a lo anterior, y considerando que en la microcuenca del río La Compañía no se ha realizado este tipo de estudios, sobre todo para generar información de utilidad para las actividades agrícolas de la zona, el objetivo de esta investigación fue llevar a cabo un análisis de las tendencias espacio-temporales de los elementos climáticos precipitación y temperatura en la microcuenca del río La Compañía, Estado de México, y relacionarlas con el cambio de cobertura y uso de suelo para el periodo 1952-2018.

MATERIAL Y MÉTODO

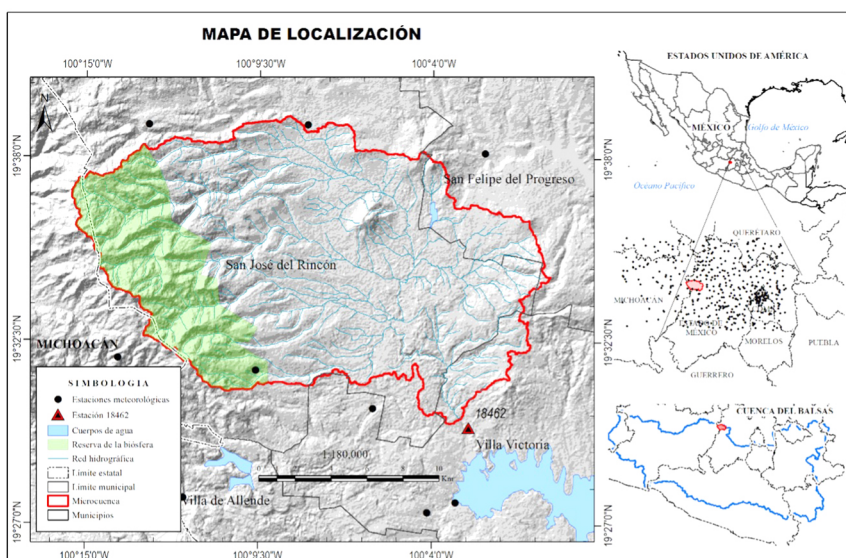
Área de estudio

La microcuenca La Compañía adquiere su nombre respecto al nombramiento de la estación hidrométrica de la Conagua con clave 18462. La microcuenca se localiza al centro del país, entre los estados de México y Michoacán (con 99 y 1% de superficie, respectivamente). Tiene una extensión de 290 km², que abarca los municipios mexiquenses de San José del Rincón (88%), Villa Victoria (5%) y San Felipe del Progreso (6%) (Figura 1). Esta zona de estudio presenta ligeros contrastes altitudinales, ya que tiene un rango máximo de 3 383 msnm y uno mínimo de 2 562. La precipitación anual es de 1 053 mm, con una precipitación del mes más

seco de 40 mm. La temperatura media anual es de 22 °C. El clima más extendido en la microcuenca es semifrío subhúmedo con lluvias durante el verano Cb₁ (w₂) (64% de la superficie) que se localiza en las zonas elevadas. Es seguido por un clima templado subhúmedo C (w₂) (36% de la superficie) distribuido hacia los valles.

De acuerdo con el INEGI (2020), la población total de la microcuenca La Compañía, registrada en el Censo de Población y Vivienda de 2020, fue de 61 376 habitantes, de los cuales 51% son mujeres y 49% son hombres. En La Compañía existe un total de 81 localidades. Del total de la población, 42% vivía en localidades urbanas y 58% en localidades rurales. En la microcuenca se distingue la agricultura de temporal anual. La superficie agrícola de temporal se distribuye en 86% en el territorio de la microcuenca, correspondiente al municipio de San José del Rincón, lo cual indica una fuerte dependencia de la precipitación (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022).

Figura 1. Localización del área de estudio



Análisis exploratorio de datos

Como parte de la preparación de los datos, primero se realizó un análisis exploratorio de datos diarios de precipitación (mm), temperatura máxima (°C) y temperatura mínima (°C) de 465 estaciones meteorológicas distribuidas dentro y fuera del área de estudio (Figura 1). Se consideró utilizar datos diarios de las estaciones meteorológicas del SMN (Conagua, 2023). En la Tabla 1 se presenta una muestra de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro y próximas a la microcuenca. El análisis consistió en la depuración de la información con base en el criterio de la OMM (2018) para obtener un mes que contara con 80% de los días con registro, así como años con 80% de meses registrados, y por estación meteorológica debería contar al menos 80% de los años registrados dentro del periodo 1952-2018. En caso de que no se cumpliera este principio, los meses o años se descartaban de la serie de tiempo en construcción. Esta depuración se realizó con Python en la herramienta Jupyter notebook, donde además se identificaron posibles patrones de cambio a largo plazo y se detectaron datos atípicos o errores en la información.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas usadas para los datos de temperatura y precipitación

<i>Estación</i>	<i>Nombre</i>	<i>Latitud (grados decimales)</i>	<i>Longitud (grados decimales)</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
15066	Palizada	19.508	-100.098	2 635
15076	Presa Tepatitlán	19.663	-99.958	2 564
15102	San Onofre	19.692	-100.095	2 677
15133	Presa Villa Victoria	19.461	-100.054	2 552
15197	Cuesta del Carmen	19.463	-100.198	2 750
15199	Mina Vieja	19.556	-99.948	2 927
15227	Concepción del Monte	19.650	-100.133	2 695
15230	Palo Amarillo	19.650	-100.217	3 080

Continúa...

<i>Estación</i>	<i>Nombre</i>	<i>Latitud (grados decimales)</i>	<i>Longitud (grados decimales)</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
15233	San Nicolás Mavati	19.587	-99.946	2 910
15247	La Ciénega	19.636	-100.039	2 610
15334	Palo Seco	19.527	-100.160	2 925
15347	Tepetitlán	19.653	-99.887	2 530
15388	Yebucibi	19.505	-99.907	2 245
15391	E. T. A. 026 Villa Victoria	19.456	-100.069	2 580
16079	Melchor Ocampo	19.583	-100.333	2 300
16148	Zitácuaro	19.433	-100.367	1 870
16189	C.R.E.D.F.F.A.	19.533	-100.233	3 090

Fuente: elaboración propia.

Interpolación

Con base en la localización de cada una de las estaciones meteorológicas, se realizaron interpolaciones de las variables climáticas de interés (precipitación y temperatura). Específicamente, se usó la herramienta ANUSplin versión 4.4 (Hutchinson & Xu, 2013) y se generaron 804 archivos raster mensuales (12 capas por cada año del periodo 1952-2018) para obtener superficies continuas del área de estudio. El algoritmo de ANUSplin denominado *Thin plane spline*, lo hace adecuado para interpolar datos climáticos con grandes cantidades de ruido. Los datos climáticos multivariantes con ruido se tratan como una función con una o más variables independientes mientras se ajusta una superficie climática.

Estudios anteriores recomiendan ampliamente el uso de ANUSplin para la interpolación de datos climáticos en diversas escalas espaciales (Guo et al., 2020; Mark et al., 1999; Fick & Hijmans, 2017). A diferencia de los métodos de interpolación basados en la distancia entre estaciones (como el Inverso de la Distancia Ponderada), el método de interpolación *Thin plane spline* utiliza parámetros de longitud, latitud y

elevación del espacio geográfico. La matemática de interpolación por *Thin plane spline* se representa en la ecuación 1.

$$z_i = f(x_i) + \sum_{j=1}^p \beta_j \psi_j(x_i) + \varepsilon_i \quad (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, p)$$

Donde:

n : número de datos de observación;

f : representa una función de suavizado que debe estimarse;

β_j : denota una serie de parámetros (p dimensionales) que también deben estimarse;

ψ_j : son una serie de funciones (p dimensionales) de variables independientes;

ε_j : representan errores independientes, aleatorios y de media cero.

Como parte de los requerimientos de ANUSplin para la interpolación, es fundamental tener en cuenta los datos de coordenadas geográficas y altitud de cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas. La información de latitud y longitud se retomaron del archivo shapefile del conjunto de estaciones. La altitud se consideró a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) ASTER GDEM v3 con una resolución de celda de ~ 30 m (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2019). El proceso de extraer los valores de altitud correspondiente por estación meteorológica, se realizó mediante procesos de análisis espacial en el Sistema de Monitoreo y Modelación Geoespacial Terrset (Clark Labs, 2020). Las celdas de precipitación y temperatura generadas conservaron la resolución de celdas igual que el DEM utilizado.

Análisis de tendencias

Como resultado de la etapa previa, se obtuvieron series temporales de capas ráster de precipitación, temperatura máxima y mínima, por lo que a continuación se

determinaron las tendencias a escala anual utilizando el coeficiente de correlación no paramétrico Tau de Mann-Kendall (MK) (Eastman, 2016). El análisis se realizó con el software Terrset en el módulo *Earth Trends Modeler* (ETM). Este módulo cuenta con las herramientas estadísticas de tendencias, ajustes en la estacionalidad, así como en la identificación de anomalías. La prueba estadística Mann-Kendall permite identificar la presencia de tendencias de cambios y el grado en el que éstos ocurren. Los resultados permiten obtener información espacial y temporal de tendencias de incremento o disminución en la precipitación y temperaturas, según corresponda.

La opción de tendencia monótona (Mann-Kendall) proporciona un indicador de tendencia no lineal que mide el grado en que una tendencia aumenta o disminuye de forma constante (Tabla 2). Tiene un rango de -1 a 1. Un valor de 1 indica una tendencia que aumenta continuamente y nunca disminuye. En sentido contrario, cuando tiene un valor cercano a -1 se estaría hablando de una tendencia que disminuye continuamente y nunca aumenta. Finalmente, un valor de 0 indica que no hay tendencia consistente. En cada celda se evalúan todas las combinaciones de pares de valores a lo largo del tiempo y se calcula el número de píxeles que aumentan o disminuyen con el tiempo. El estadístico de Mann-Kendall es simplemente la frecuencia relativa de aumentos menos la frecuencia relativa de disminuciones. Las ecuaciones 2 y 3 representan la estadística del test Mann Kendall.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n [\text{sign}(\chi_j - \chi_k)] \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{sign}(\chi_j - \chi_k) = \begin{cases} +1 & \chi_j - \chi_k > 0 \\ 0 & \chi_j - \chi_k = 0 \\ -1 & \chi_j - \chi_k < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 3}$$

Tabla 2. Interpretación de valores del análisis de tendencias Mann-Kendall (S)

<i>Rangos de valores</i>	<i>Indicaciones</i>
$-1 \leq S < 0$	La tendencia indica a valores de disminución
$S=0$	Ausencia de tendencia
$0 < S \leq 1$	La tendencia indica valores de incremento

Fuente: Segundo-Sandoval et al. (2023).

En donde X_j representa los datos estimados de la secuencia de valores, n representa el tamaño de la serie temporal. Reciben valor cero (0) si $(X_j - X_k) = 0$; y [-1] si $(X_j - X_k) > 0$, por fin, [1] si $(X_j - X_k) < 0$. Cuando H_0 sea verdadera, S debe presentar una distribución aproximadamente normal con media cero y variancia $\text{Var}(S)$, así como se muestra en la ecuación 4.

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^{nk} tk(K)(K-1)(2K+5)}{18}$$

La opción de significancia de Mann-Kendall produce un par de imágenes: una de significancia expresada como puntuaciones Z y otra que expresa la probabilidad de que la tendencia observada pueda haberse producido por azar p . Para esta investigación el nivel de significancia utilizado fue de 95%. Para realizar un mapa por categorías de tendencias se utilizó el criterio donde una tendencia disminuye cuando el valor Z es negativo y el cálculo de probabilidad es mayor que el nivel de significancia; mientras que la tendencia a incrementar se debe a un valor en Z positivo y el cálculo de probabilidad es mayor que el nivel de significancia (Ecuación 5).

La función de densidad de probabilidad para una distribución normal con una media de 0 y una desviación típica de 1 se expresa mediante la ecuación 6. El valor estadístico del test es representado por Z , se expresa en la ecuación 5 y 6 a seguir. Finalmente, se considera que no existe tendencia cuando el cálculo de probabilidad es menor que el nivel de significancia. Lo anterior es posible traducirse con el apoyo de las Tablas 2 y 3.

$$Z_s \left\{ \begin{array}{l} \frac{s-1}{\sqrt{v(s)}} \quad (s > 0) \\ 0 \quad (s = 0) \\ \frac{s+1}{\sqrt{v(s)}} \quad (s < 0) \end{array} \right\} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Tabla 3. Criterios usados para la cartografía de categorías de tendencias

<i>Prueba estadística normalizada (Z)</i>	<i>Operador lógico Overlay en Terrset</i>	<i>Probabilidad (P) con nivel de significancia del 0.95</i>	<i>Tendencia</i>
Z < 0	AND	p ≥ 0.95	Disminuye
Z > 0	AND	p ≥ 0.95	Incrementa
Z=0	OR	P < 0.95	No hay tendencia

Fuente: Segundo-Sandoval et al. (2023).

Análisis estacional

Asimismo, entre los resultados que se generan a partir del análisis de tendencias en el módulo ETM, también se utilizaron los análisis estacionales para identificar la posible presencia de desfases estacionales y caracterizar patrones de cambio a través de los meses. De esta manera, es posible identificar variaciones mensuales en los valores de precipitación y temperatura. En este caso, para el lapso de 67 años de análisis, se dividió en dos periodos de 33 años cada uno. El primero correspondió a los años de 1952 a 1984 y el segundo a los años de 1986 a 2018; es decir, 1985 quedó fuera de este análisis. La división de la serie de datos se realizó con el objetivo de diferenciar el patrón mensual entre ambos periodos. Adicionalmente, también es posible distinguir los meses de temporada húmeda y aquellos de temporada seca, así como las temporadas cálida y fría del año.

Del mismo modo, los aumentos o decrementos en los valores mensuales de un periodo en comparación con el otro se identificaron y cuantificaron mediante el coeficiente de determinación, como se muestra en la ecuación 7.

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\hat{\gamma}_t - \bar{\gamma})^2}{\sum_{t=1}^T (\gamma_t - \bar{\gamma})^2}$$

Así, también se utilizó el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el cual es un estadístico global que determina la magnitud relativa del ruido (varianza residual) entre dos series de datos (Ecuación 8).

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_i^{obs} - \gamma_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (\gamma_i^{obs} - \gamma^{mean})^2} \right]$$

En donde NSE es el valor del coeficiente de Nash-Sutcliffe, γ_i^{obs} es el valor del primer mes en el primer periodo, γ_i^{sim} corresponde al valor del primer mes en el segundo periodo y γ^{mean} es el promedio del valor de cada uno de los meses del segundo periodo.

Evaluación de cambio de uso de suelo

A continuación, se presenta el procedimiento para identificar los usos de suelo y los posibles cambios en ellos durante el periodo de análisis de las variables de precipitación y temperatura. Cabe destacar que los recursos de mejor calidad espacial para evaluar el uso de suelo más próximo al año 1952 fue una imagen satelital de 1966. Por ello, con base en la disponibilidad de información de imágenes históricas se consideró este año para el análisis respectivo.

Uso de suelo para 1966

Para contar con una imagen de la superficie de la cuenca en 1966, se consideró trabajar con imágenes del satélite CORONA. En este sentido, las imágenes se adquirieron de forma gratuita de la plataforma Earth Explorer (NASA, 2023). Además, para contar con una calidad adecuada de la información, éstas debieron contar con no más de 10% de nubosidad dentro del área de estudio. Las imágenes CORONA se caracterizan por ser telescópicas, con fines militares y con una sola banda, por lo que sólo se pueden

analizar con fotointerpretación. La resolución espacial de las imágenes dependía de la misión militar a la que correspondían. En este caso, la imagen con las que se trabajó correspondió a la misión KH-4A, capturadas durante el periodo de agosto de 1963 a septiembre de 1969, con resolución de 9 pies, equivalente a ~ 2.74 m. Las imágenes CORONA se georreferenciaron en el SIG y se conformó un mosaico de dos imágenes. En éste se aplicaron técnicas de fotointerpretación, con base en la identificación de geometrías, texturas, tonos y valores digitales. En seguida se segmentaron cinco categorías de superficies: bosque, pastizal, urbano, agua y agricultura. La digitalización de estas categorías se apoyó con la comparación de otras fuentes de coberturas de suelo aproximadas al año de las fotografías, como la cartografía de uso de suelo y vegetación serie I del INEGI.

Uso de suelo para 2018

Para el análisis de uso de suelo de 2018, se utilizó una imagen multispectral Landsat 8 OLI de ~ 30 m de resolución espacial, que se descargó de manera gratuita de la plataforma *Earthdata* (NASA, 2023). La imagen utilizada fue capturada el 17 de noviembre de 2018 (path 027 y row 046). El preprocesamiento de la imagen consistió en realizar una corrección atmosférica. Una vez que se contaba con todas las bandas corregidas, se utilizó el módulo de *Segmentation* del software Terrset, el cual permite al usuario la agrupación de las similitudes entre valores espectrales de una imagen. Esto brinda la posibilidad de crear regiones de entrenamiento a partir del análisis espectral de todas las bandas. En este sentido, se crearon áreas de entrenamiento respecto a las mismas clases que se identificaron en la imagen CORONA.

Cuando se tuvieron las áreas de entrenamiento, se llevó a cabo la clasificación de la imagen en Terrset mediante un clasificador de red neuronal *Multilayer Perceptrón* (MLP), que utiliza el algoritmo *Back Propagation*. El cálculo se basa en la información procedente de las áreas de entrenamiento. El funcionamiento del MLP implica dos pasos principales, la propagación hacia delante y hacia atrás, para lograr la modificación de los pesos de conexión de las neuronas. Durante el entrenamiento, cada muestra (por ejemplo, un vector de características asociado a un único píxel) se introduce en la capa de entrada, y el nodo receptor suma las señales ponderadas de

todos los nodos a los que está conectado en la capa anterior. Formalmente, la entrada que recibe un único nodo se pondera considerando la ecuación 9.

$$net_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} O_i$$

Donde:

W_{ij} = representa la ponderación entre el nodo i y el nodo j

O_i = es la salida del nodo i

Análisis de cambio de uso de suelo

La modelación de cambio de uso de suelo 1966-2018 se realizó en el módulo *Land Change Modeler* del software Terrset. Éste permitió identificar las áreas de cada una de las clases que cambiaron en el periodo de análisis, además de que la herramienta genera los archivos vectoriales de las clases de cambio. Por otra parte, las tasas de cambio de uso del suelo para los dos periodos de estudio fueron calculadas mediante la ecuación 10 (FAO, 2012).

$$T = \frac{S2}{S1} * \frac{1}{n} - 1$$

Donde:

T = tasa de cambio anual (%)

S1 = área cubierta al inicio del periodo (ha)

S2 = área cubierta al final del periodo (ha)

n = número de años del periodo.

RESULTADOS

Tendencias de precipitación y temperatura en la microcuenca La Compañía, 1952-2018

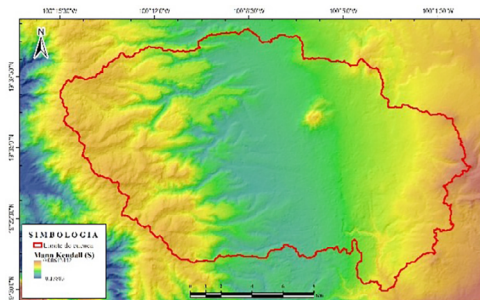
La distribución espacial y temporal de la variabilidad de la precipitación, temperatura mínima y máxima en el periodo 1952-2018 indicó que no existen cambios significativos en la microcuenca La Compañía. Respecto a los resultados de precipitación, los valores de tendencia (S) se encontraron entre -0.13883 a 0.00612, ambos valores no son significativos porque se aproximan al valor 0, que indica una ausencia de tendencia. En este sentido, durante el periodo de 67 años estudiados, es posible mencionar que en el comportamiento de la precipitación en La Compañía no existe una tendencia creciente o decreciente y que ha mantenido cierta estabilidad.

Por otro lado, los valores S de temperatura máxima resultaron en un rango de 0.0139 a 0.2275, también cercanos al 0 que, comparado con la S de precipitación, indica una tendencia ligeramente mayor de incremento. Los valores más altos se encuentran al centro de la cuenca, desde las llanuras hasta las laderas bajas. Como se observa en la Figura 2A, la temperatura máxima desciende conforme se aproxima a la superficie forestal de la parte oeste de la microcuenca (correspondiente a la reserva Mariposa Monarca). Respecto a la temperatura mínima, se obtuvieron valores S entre -0.1687 a 0.1712, los cuales demuestran un patrón similar que las variables anteriores, en cuanto a que se aproxima al valor 0, lo cual indicaría una mayor ausencia de tendencia en lugar de un incremento o una disminución significativa.

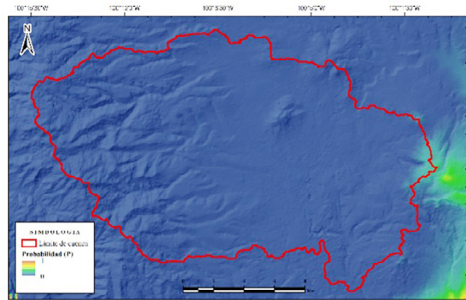
Los resultados de S y sus interpretaciones se confirman en la zonificación de tendencias anuales (Figuras 2D, 3D y 4D). Esta zonificación es resultado del cálculo de los valores Z y P para los elementos climáticos precipitación (Figura 2B y 2C), temperatura mínima (Figura 3B y 3C) y máxima (Figura 4B y 4C), y su posterior clasificación según la Tabla 3. En su conjunto, estos resultados evidencian que no hay presencia de tendencias (a incremento o decremento) en la superficie de La Compañía. Por lo tanto, la variabilidad climática en la microcuenca se considera que ha sido estable durante el periodo 1958-2018.

Figura 2. Resultados de análisis de tendencias de precipitación Mann-Kendall

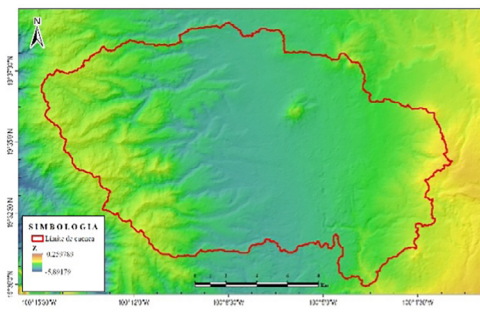
2A



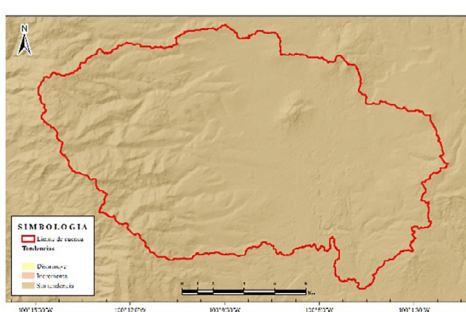
2B



2C



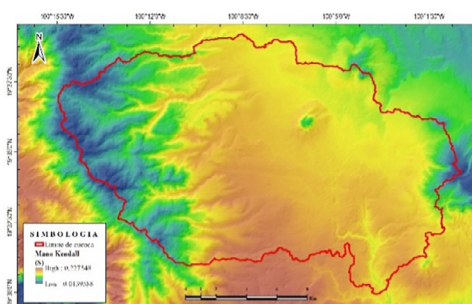
2D



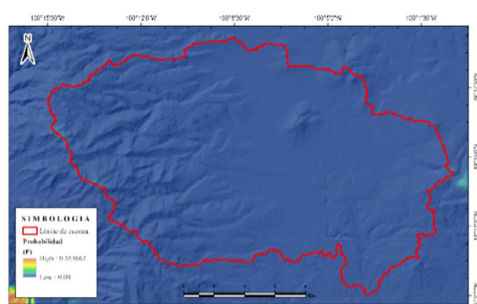
Nota: en la esquina superior izquierda se puede observar el rango de valores (S). En la esquina superior derecha se observan los valores de probabilidad. En el mapa inferior izquierdo se muestran los valores (Z) y en el mapa inferior derecho se pueden ver las categorías de incremento-disminución de tendencias.

Figura 3. Mapas de resultados de análisis de tendencias de temperatura máxima Mann-Kendall

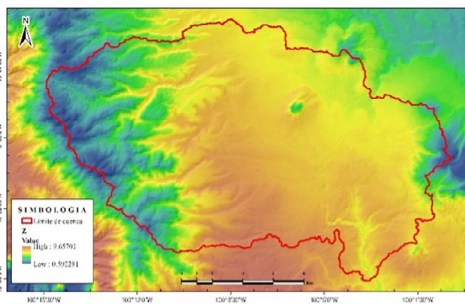
3A



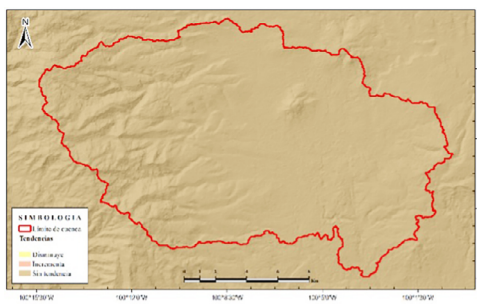
3B



3C



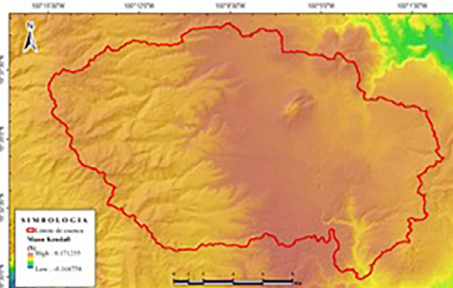
3D



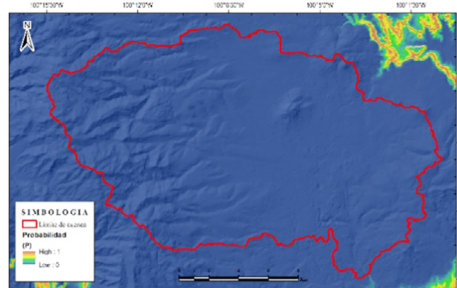
Nota: en la esquina superior izquierda se puede observar el rango de valores (S). En la esquina superior derecha se observan los valores de probabilidad. En el mapa inferior izquierdo se muestran los valores (Z) y en el mapa inferior derecho se pueden observar las categorías de incremento-disminución de tendencias.

Figura 4. Mapas de resultados de análisis de tendencias de temperatura mínima Mann-Kendall

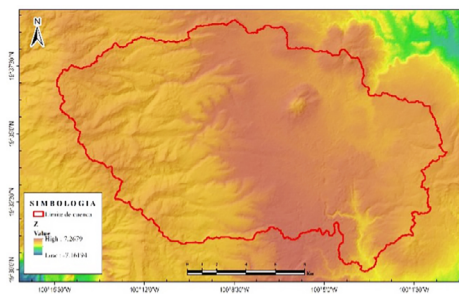
4A



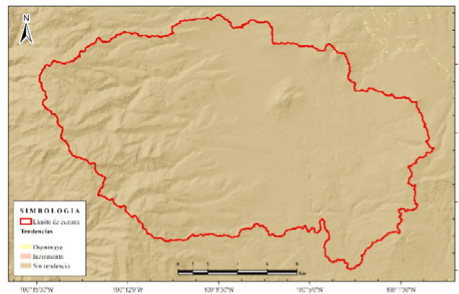
4B



4C



4D



Nota: en la esquina superior izquierda se puede observar el rango de valores (S). En la esquina superior derecha se observan los valores de probabilidad. En el mapa inferior izquierdo se muestran los valores (Z) y en el mapa inferior derecho se pueden observar las categorías de incremento-disminución de tendencias.

ANÁLISIS ESTACIONAL

El periodo 1952-2018 se dividió en dos periodos: 1952-1984 y 1986-2018 para realizar el análisis estacional de las variables climáticas (precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima) en la microcuenca La Compañía.

De acuerdo con el comportamiento estacional de la precipitación (Figura 5A), se puede observar que para el primer periodo, la temporada húmeda iniciaba a principios de abril, mientras que para el segundo se presenta a finales de ese mes. Además, esta temporada finalizaba en noviembre para el primer periodo, y en el segundo periodo la humedad termina a mitad de octubre; es decir, se presenta un desplazamiento y reducción del periodo húmedo en la microcuenca.

Por otro lado, la diferencia entre las cantidades de precipitación entre ambos periodos es notable. En el mes de julio del periodo 1952-1984, la precipitación alcanzaba 183 mm, mientras que para 1986-2018 fue de 168 mm. No obstante, para agosto y septiembre se cuenta con diferencias de 23 a 24 mm entre ambos periodos. Por otro lado, no se observa cambio en el comportamiento de la precipitación en enero, febrero y marzo, debido a que ambos periodos se reportan bajas cantidades de precipitación (0 a 2 mm). No obstante, los resultados para precipitación, los valores de R^2 y Nash indicarían que este cambio no es significativo, ya que tienen valores de 0.99 y 0.95, respectivamente.

En cuanto al análisis estacional de temperatura mínima (Figura 5B), destacan enero, febrero y marzo como los meses más fríos. Respecto al periodo 1952-1984, sobresale enero como el mes más frío ($-0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$). En este mismo periodo, se observa que al finalizar febrero inició la temporada cálida y terminaba a principios de septiembre. Para el periodo 1986-2018, la temperatura mínima incrementó ($3\text{ }^{\circ}\text{C}$) respecto al primero, aunque los meses de enero y febrero destacan por ser los más fríos, para el segundo periodo se presentan más cálidos. Por otro lado, en los meses de junio a septiembre las temperaturas mínimas se mantienen en los $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, para el primer periodo éstas comenzaban a descender a principios de septiembre. Mientras que para el segundo se puede observar que la temperatura tiende a disminuir a finales de septiembre. Aunque, en el segundo periodo en los meses de octubre, noviembre y diciembre también destacan temperaturas mínimas en incremento respecto al primer periodo ($2\text{ }^{\circ}\text{C}$). En contraste con la precipitación, aunque en la temperatura mínima se aprecia una mayor diferencia, el R^2 sigue siendo alto (0.99), lo cual indica cercanía

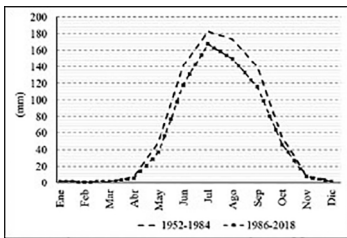
entre los valores de las dos series. No obstante, el valor de Nash (0.44) expresa que ya existe diferencia entre las dos series.

A propósito de la temperatura máxima, los meses de abril y mayo destacan por presentar temperaturas máximas en ambos periodos. Sin embargo, en el primero se presentaban temperaturas de 21 °C y para el segundo se registran temperaturas de hasta 22 °C. En este sentido, para el primer periodo, las temperaturas máximas en los meses más fríos alcanzaban los 17 °C, mientras que para el segundo se observaban temperaturas de hasta 19 °C. No obstante, las diferencias entre temperaturas máximas destacan con mayor amplitud a partir de los meses de julio a diciembre (hasta 1.34 °C) entre ambos periodos (Figura 5C). Desde el punto de vista de los valores de R^2 y Nash (0.98 y 0.43, respectivamente), los resultados indicarían una situación similar a lo descrito para la temperatura mínima.

Figura 5. Variabilidad estacional entre el primer periodo 1952-1985 y el segundo periodo 1986-2018

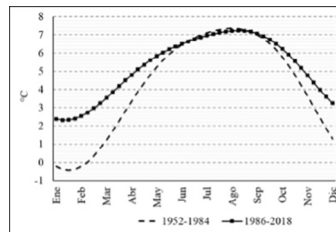
5A

$R^2= 0.99$ Nash= 0.95



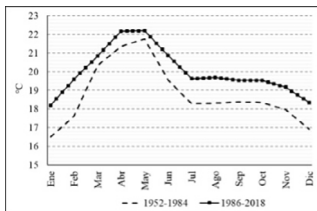
5B

$R^2= 0.99$ Nash= 0.44



5C

$R^2= 0.98$ Nash= 0.43



Nota: en la gráfica A se puede observar el patrón de cambios de precipitación, B temperatura mínima y C temperatura máxima

USO Y COBERTURA DEL SUELO EN LA MICROCUENCA LA COMPAÑÍA

En la Tabla 4 se reportan las superficies absolutas y relativas por uso de suelo de cada año analizado dentro de los límites de La Compañía. En 1966, 54.64% de la superficie de la cuenca correspondía a uso de suelo agrícola, mientras que 26.70% lo ocupaban superficies de pastizal. En menor porcentaje (19.08%) correspondía a bosque, 0.21% a superficies urbanas y 0.09% a superficies con cuerpos de agua (Figura 6A).

Respecto al año 2018, la superficie agrícola se mantuvo predominante en el territorio de La Compañía, ocupando 53.14%. En seguida, la superficie forestal representa 30.65% (incrementó). Por otra parte, el pastizal también se distingue entre las superficies más representativas con 10.77%. En menor proporción, la superficie urbana se distribuye en 16.30%, mientras que los cuerpos de agua representan 0.067% de la microcuenca.

Tabla 4. Superficies absolutas y relativas de coberturas de uso de suelo en la cuenca del río La Compañía (1966 y 2018)

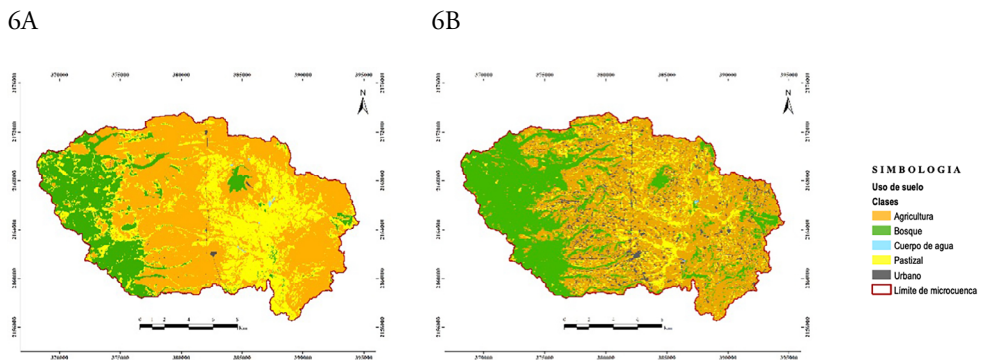
<i>Uso de suelo</i>	<i>1966</i>		<i>2018</i>		<i>Pérdidas/ Ganancias</i> (km ²)
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	
Agricultura	158.45	54.64	154.17	53.14	-4.28
Bosque	55.34	19.08	88.16	30.65	32.82
Agua	0.27	0.09	0.194	0.067	-0.076
Pastizal	77.44	26.7	31.26	10.77	-46.18
Urbano	0.62	0.21	16.31	5.62	15.69

Fuente: elaboración propia.

El análisis de cambio de uso de suelo se realizó mediante la comparación de coberturas de 1966 y 2018, con una diferencia de 57 años. En este sentido, el análisis demostró que la superficie agrícola perdió 4.28 km² para 2018, lo cual es poco significativo respecto a la superficie relativa que ocupa la superficie agrícola en la microcuenca. Por otro lado, en la Figura 5B se puede observar la recuperación de bosque y se confirma

con las estadísticas (Tabla 6), en donde esta superficie incrementó 32.82 km². En contraste, la superficie de pastizal sufrió pérdidas significativas de 46.18 km², siendo así la cobertura mayor de pérdidas de superficie. Mientras que la superficie urbana ganó 15.69 km². En suma, algunos de los cuerpos de agua que eran visibles en 1966 desaparecieron en 2018, alrededor de 0.08 km² de pérdida para esta cobertura.

Figura 6. Mapas de cobertura de uso del suelo de los años 1966 (A) y 2018 (B)



ANÁLISIS ESTACIONAL DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS EN ZONAS CON CAMBIO DE USO DE SUELO

Al contar con los usos del suelo de 1966 y 2018, se identificaron las áreas con mayor superficie en las que se presentaron cambios significativos. En este sentido, se observaron superficies que cambiaron de bosque a agricultura (2.9 km²) y de pastizal a agricultura (44.8 km²). Para identificar las tendencias estacionales respecto a los cambios de uso de suelo, se utilizaron los archivos vectoriales de los cambios ya mencionados para determinar el comportamiento estacional de cada uno de los elementos climáticos analizados.

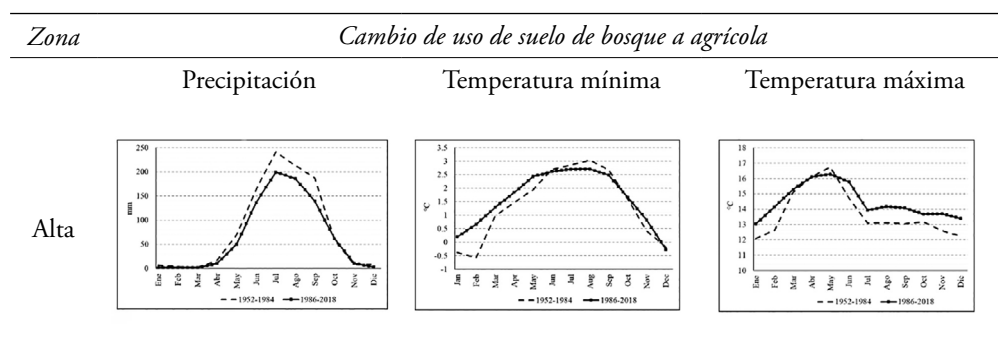
En la Figura 7 se puede observar el comportamiento estacional de la precipitación, temperatura mínima y máxima por zona altitudinal de la microcuenca (alta, media y baja) y por superficie de cambio de bosque a agricultura. En este análisis, la precipitación conserva el patrón general de distribución mensual correspondiente al

de toda la cuenca y descrito anteriormente. No obstante, se destaca la reducción de cantidad de precipitación por zona altitudinal y periodo de análisis. Para el periodo 1952-1984 en la zona alta se alcanzó un máximo de 240 mm en el mes más húmedo (julio); en la zona baja, 200 mm, y en la zona media, 160 mm. Mientras que para el periodo 1986-2018, la zona alta presentó 200 mm; zona media, 180 mm, y zona baja, 160 mm. Entre ambos periodos, se identifica una disminución en la precipitación del mes más húmedo.

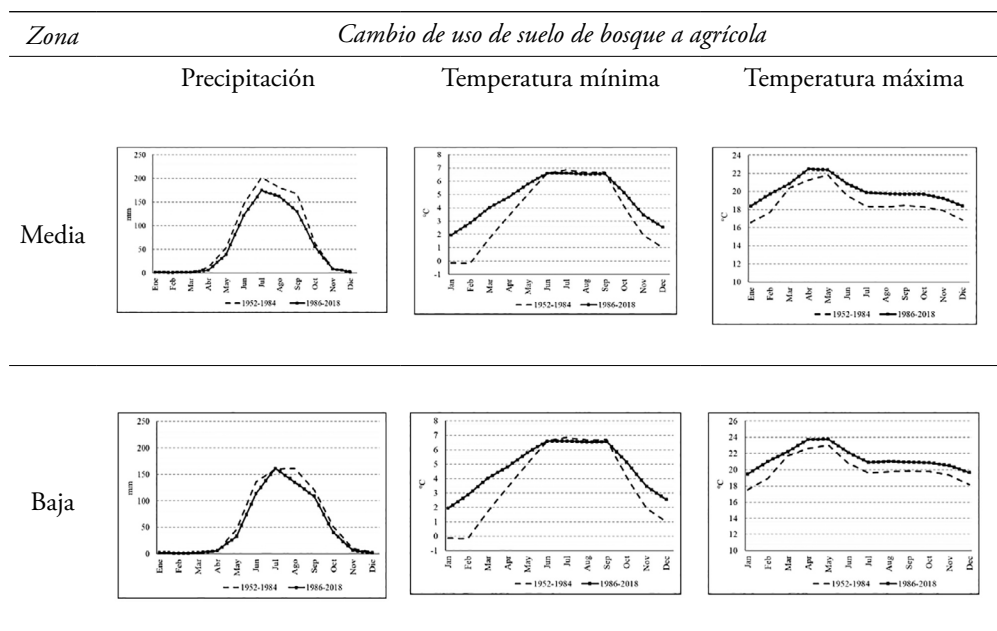
En lo que concierne a la temperatura mínima (Figura 7) en las tres zonas altitudinales se demuestra un patrón de amplitud en el incremento de las temperaturas mínimas hacia los meses fríos, similar al patrón general de la microcuenca. Para el periodo 1952-1984, en la zona alta se registró $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de febrero; en la zona media, $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, al igual que en la zona baja para el mes más frío. En cambio, en 1986-2018 las temperaturas incrementaron en los meses fríos. En este caso la zona alta registró $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, y en zona media y zona alta, $2\text{ }^{\circ}\text{C}$; es decir, $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diferencia entre ambos periodos.

En el caso de la temperatura máxima, también es posible observar una amplitud de ésta en los meses fríos. Para el primer periodo (1952-2018) la zona alta se presentó de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$; en la media, $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, y en la baja, $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. En contraste, en el segundo periodo éstas incrementaron. En la zona alta, la temperatura en enero fue de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$; en la media, $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, y en la baja, $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 7).

Figura 7. Gráficas de variabilidad estacional entre el primer (1952-1985) y segundo periodo (1986-2018) por superficie de cambio bosque-agricultura y zona altitudinal de la microcuenca La Compañía



Continúa...



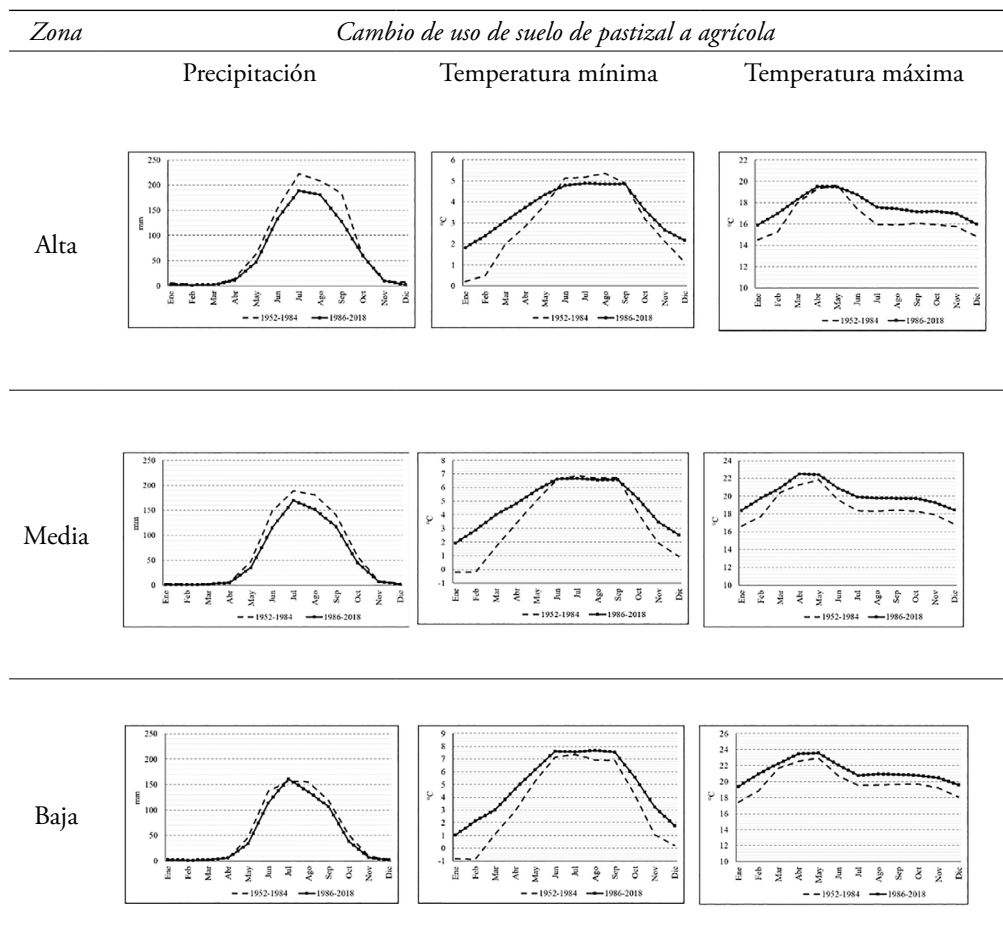
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8 es posible observar el comportamiento estacional de los elementos climáticos en las superficies con cambio de pastizal a agrícola. Respecto a la precipitación, para el primer periodo presentó valores de 230 mm en el mes más lluvioso de la zona alta. En la zona media, la precipitación descendió a 180 mm y en la zona baja alcanzó 150 mm para este mismo mes. En el segundo periodo, la precipitación fue de 190 mm en la zona alta, 160 mm en la media y 150 mm en la baja. En este sentido, es notable la reducción entre ambos periodos; sin embargo, también se destaca una disminución de valores entre ambas categorías de transición de uso de suelo.

Por otro lado, la temperatura mínima para el primer periodo fue de 0 °C en la zona alta y media, mientras que en la baja alcanzó -1 en los meses fríos (enero y febrero). Por otro lado, en el segundo periodo, en la zona alta ésta incrementó a 2 °C en los meses fríos, esto es similar en la zona media, mientras que en la baja se registró 1 °C (Figura 8). Por otra parte, la temperatura máxima para el primer periodo se registró de 14.5 °C en la zona alta, 16.5 °C en la media y 17.5 °C en la

baja. Si bien, para el segundo periodo es posible observar un ligero incremento: 16 °C en la zona alta, 18 °C en la media y hasta 20 °C en la baja. Cabe destacar que estas temperaturas corresponden a los meses fríos en los cuales es posible observar esta amplitud de temperaturas hacia estos meses, en contraste con los meses cálidos, los cuales presentan diferencias poco significativas entre ambos periodos.

Figura 8. Gráficas de variabilidad estacional entre el primer (1952-1985) y segundo periodo (1986-2018) por superficie de cambio pastizal-agricultura y zona altitudinal de la microcuenca La Compañía



Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de tendencias anuales, en la microcuenca La Compañía se conservan los parámetros del clima local con cierta estabilidad. Mientras que el análisis estacional permitió identificar modificaciones en el comportamiento de las variables climáticas en la microcuenca. Los valores de precipitación demostraron una reducción del periodo de lluvias a partir de 1986 hasta 2018, lo que incide en una carencia de agua de lluvia, viéndose afectada la disponibilidad de este recurso para la agricultura de temporal. La reducción de precipitación es similar a lo que reporta Cruz-González (2023) para el Distrito de Desarrollo Rural de Atlacomulco, lo cual prevé afectaciones en la producción de maíz de temporal.

Lo anterior conlleva a reducir el crecimiento y rendimiento de cultivos, lo cual en condiciones extremas son la principal causa de pérdidas agrícolas (Baffour-Ata et al., 2023). Un ejemplo es lo reportado por Villalobos-González et al. (2016), quienes mencionan que la escasez de agua disminuye el rendimiento de maíz y el número de granos en las mazorcas.

Por otro lado, los valores promedio de temperatura mínima entre los periodos de análisis oscilan entre 3 °C en los meses más fríos, mientras que en los cálidos no se presentaron oscilaciones entre los periodos. Es decir, los inviernos, a partir de 1986, han sido más cálidos. En la microcuenca el menor porcentaje de uso de suelo es urbano, dado que el territorio de La Compañía es predominantemente rural; en este sentido, hay una carencia de efectos en la termodinámica que produce el calentamiento de la superficie como en las zonas urbanas.

En este sentido, Martínez-Arredondo et al. (2015) mencionan que la superficie de bosque brinda la posibilidad de enfriar más rápido y tarda en calentarse respecto a otras superficies. Sin embargo, en cuanto a que no existen cambios significativos en la superficie forestal en los años de análisis de cambios de uso de suelo, es probable que la reducción de cuerpos de agua forme parte de la influencia en el incremento de las temperaturas mínimas, debido a que éstos también regulan la temperatura local. No obstante, el cambio en patrones de precipitación también es un factor que influye en los cambios de temperaturas. Por otro lado, las condiciones que representa que más de 60% no cuenta con áreas forestales es parte de la alteración que conduce a temperaturas más calientes debido a la disminución de la velocidad del viento (Ruíz-Álvarez et al., 2016).

Así, respecto al incremento de temperaturas mínimas y máximas en el análisis estacional, se ha documentado que puede alterar la producción de papa en la microcuenca. El cultivo de este tubérculo en La Compañía se caracteriza por ser un cultivo de tierras de zonas altas y de clima templado; en primavera es la siembra y en otoño, la cosecha. Por una parte, la concentración en pocos meses de la temporada de lluvia puede favorecer la presencia de enfermedades fungosas, como el tizón tardío, u otras enfermedades, como *Candidatus Liberibacter solanacearum*, la cual se ha registrado anteriormente en parcelas de San José del Rincón (Gutiérrez-Ibáñez et al., 2013).

Por otro lado, el incremento de las temperaturas tiene un efecto acelerador en los procesos fenológicos de los cultivos, por lo que posiblemente se presentarán ciclos cortos de maduración, tanto en el maíz como en la papa. Esto debido a que la temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa es de 20 °C (Midmore, 1988), mientras que en la temporada cálida de la microcuenca la temperatura máxima ha alcanzado los 22 °C. No obstante, Djalovic et al. (2023) señalan que el probable incremento de temperaturas durante la temporada de cultivos influye en factores como la pérdida de agua por evapotranspiración, así como alteración natural de las plantas por estrés biótico.

CONCLUSIONES

Una vez evaluados anual y estacionalmente 67 años de variables climáticas (precipitación, temperatura máxima y mínima) no se detectaron cambios en las tendencias anuales en la microcuenca del río La Compañía. El análisis de tendencias de elementos climáticos con el enfoque de cuenca, es de utilidad para derivar estrategias de abasto hídrico en un escenario donde se está reduciendo la cantidad y el periodo de lluvias.

Es de consideración que entre los periodos de incremento y decremento estacional existe una compensación, de tal manera que aún no es notable y, por lo tanto, no se detecta de manera significativa un incremento y/o decremento en los resultados de tendencias anuales. Además, el análisis de tendencias de series de tiempo de precipitación y temperatura, en conjunto con los análisis de cambios de uso de suelo, constituye un primer paso para identificar las causas que estén involucradas

en los cambios de temporalidad y espacialidad en los fenómenos meteorológicos analizados.

Aunque el análisis de cambio de uso de suelo demostró recuperación de superficie de bosque, no se encontró cambio en la tendencia anual de los elementos climáticos. Sin embargo, fue posible destacar las diferencias en el comportamiento estacional de los elementos climáticos por zona altitudinal a la escala de microcuenca, como en el caso de La Compañía. Por ello, es de suma importancia considerar el enfoque de cuenca en la gestión de recursos naturales.

Es necesario dar continuidad al análisis de series de tiempo a nivel de cuenca, además de estudios de balance hídrico, que permitan conocer diversos factores que influyen en cambios relacionados con la distribución de los recursos hídricos. Por ello, se sugiere realizar este análisis a nivel de cuenca (Río Cutzamala) o bien, en otras regiones o subregiones hidrológicas, a fin de establecer si la disminución de la precipitación es generalizada; también se deben formular medidas orientadas a considerar esa reducción de lluvia y redimensionar los aprovechamientos hidráulicos de todo tipo, así como insumos tecnológicos y decisiones en torno a la optimización.

REFERENCIAS

- Baffour-Ata F., Tabi, J. S., Sangber-Dery, A., Etu-Mantey, E. E. & Asamoah, D. K. (2023). Effect of rainfall and temperatura variability on maize yield in the Asante Akim North District, Ghana. *Current Research in Environmental Sustainability* 5: 100222. DOI: 10.1016/j.crsust.2023.100222.
- Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, V. H., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A. & Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3), 205-218.
- Cruz-González, A., Arteaga-Ramírez, R., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, J., Monterroso-Rivas, A. I. y Flores-Magdaleno, H. (2023). Tendencia y variabilidad climática: efecto en la producción de maíz en el Distrito de Desarrollo Rural Atlacomulco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, Núm. Esp. III: e3868. DOI:10.19136/era.a10nIII.3868
- Djalovic, I., Kundu, S., Bahuguna, R. N., Pareek, A., Raza, A., Singla-Pareek, S. L., Prasad, P. V. & Varshney, R. K. (2023). Maize and heat stress: Physiological, genetic, and molecular insights. *Plant Genome*, July, 1-19. DOI: 10.1002/tpg2.20378.

- Eastman, J. R. (2016). *TerrSet manual [Manual de software]*. Clark Labs, Clark University.
- Eastman, J. R., Sangermano, F., Ghimire, B., Zhu, H., Chen, H., Neeti, N., Cao, Y., Machado, E. A. & Crema, S. C. (2009). Seasonal Trend Analysis of Image Series. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10), 2721-2726.
- Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). World Clim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol*, 37, 4302.
- Food and Agriculture Organization. (Ecuación tasas de cambio). (1996). *Forest resources assessment 1990: Survey of tropical forest cover and study of change processes* (FAO Forestry Paper 130). FAO. <https://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm>
- Food and Agriculture Organization. (2015). *Global Forest Resources Assessment 2015: Country report Mexico* (FRA 2015). FAO. <https://www.fao.org/3/az254s/az254s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020* [Conjunto de datos]. Procesado por Ritchie, H., & Roser, M. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/deforestation>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Roma: FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- García Hernández, M., Pérez Magaña, A., Martínez Corona, B. y Gutiérrez Villalpando, V. (2021). Cambio de uso de suelo y variabilidad climática en Chiautzingo, Puebla, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6(11). <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9421>
- Ghanim A., A. J., Anjum, M. N., Rasool, G., Saifullah, I. M. & Rahman, S. (2023). Assessing spatiotemporal trends of total and extreme precipitation in a subtropical Highland region: A climate perspective. *PLoS ONE*, 18(8), e0289570. <https://doi.org/10.1371/journal>
- Gu, L., Pallardy, S. G., Hosman, K. P. & Sun, Y. (2016). Impacts of precipitation variability on plant species and community water stress in a temperate deciduous forest in the central US. *Agr Forest Meteorol*, 217, 120.
- Guo, B., Zhang, J., Meng, X., Xu, T. & Song, Y. (2020). Long-term spatio-temporal precipitation variations in China with precipitation surface interpolation model. *Scientific Reports*, 10, 81. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57078-3>
- Gümüş, V., Başak, A., & Oruç, N. (2019). Homogeneity test on precipitation data series: A case study of Şanlıurfa, Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 25, 412-419. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.538925>
- Gutiérrez-Ibáñez, A. T., Sánchez Pale, J. R., Laguna Cerda, A., Ramírez Dávila, J. F., Balbuena Melgarejo, A. y Alvarado Gómez, O. G. (2013). Detección de *Ca Liberibacter*

- solanacearum y fitoplasmas en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Valle de Toluca. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 145-149. Consultado el 4 de marzo de 2024 en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752013000100015&lng=en&tlng=es
- Hutchinson, M. & Xu, T. (2013). *ANUSPLIN versión 4.4. User guide*. The Australian National University. Fenner School of environment and society Canberra.
- Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C. (2023). *Aguas en México: ¿escasez o mala gestión?* Recuperado de <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Situacion-del-agua-en-Mexico-1.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). Glossary of terms. In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, pp. 555-564.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. En *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press.
- IPCC. (2012). Glossary of terms. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555-564.
- IPCC. (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América
- Ibrahim, B., & Ash'aari, Z. H. (2023). Climate variability in relation to land use and land cover (LULC) changes in Kota Bharu, Kelantan, Malaysia. *Planning Malaysia: Journal*

- of the Malaysian Institute of Planners*, 21(5), 1-16. <https://doi.org/10.21837/pmjournal.v21.i5.1330>
- Kumar, S., Ashok, M. & Umesh K. S. (2023). Assessment of Land Cover Changes and Climate Variability Effects on Catchment Hydrology Using a Physically Distributed Model. *Sustainability*, 15(13): 10304. <https://doi.org/10.3390/su151310304>
- López, N., Marquez, A. M. y Guevara, E. (2021). Predicción espacio-temporal del balance hídrico en la cuenca del río Urama, Venezuela. *Dyna*, 88(217), 58-67. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.88222>
- Lenton, T. M., Xu, C., Abrams, J. F., Ghadiali, A., Loriani, S., Sakschewski, B., Zimm, C., Ebi, K. L., Dunn, R. R., Svenning, J.-C., & Scheffer, M. (2023). Quantifying the human cost of global warming. *Nature Sustainability*, 6(10), 1237-1247.
- Matailo-Ramírez, L., Ramírez-Vargas, R. O., Mereci-Pinza, S. K. (2023). Análisis de tendencias y variabilidad de la precipitación en las Cuencas Noroeste del Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(2), 107-113. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Méndez González, J., Nívar Cháidez, J. de J., & González Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas*, (65), 38-55. <https://doi.org/10.14350/rig.17751>
- Martínez-Austria, P. F., Patiño-Gómez, C. y Tamayo Escobar, J. E. (noviembre-diciembre, 2014). Análisis de tendencias climáticas en la cuenca baja del río Yaqui, Sonora, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(6), 135-149.
- Martínez-Arredondo, J. C., Gutiérrez-Jurado, K. Y. & Díaz-Caravantes, R. E. (2015). Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico. *Agricultural Water Management*, 175, 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.029>
- Midmore, D. (1988). *Fisiología de la planta de papa bajo condiciones de clima cálido*. Centro Internacional de la Papa.
- Met Office Hadley Centre (2023). – processed by Our World in Data. “Mean” [dataset]. Met Office Hadley Centre, “HadCRUT5 HadCRUT.5.0.1.0” [original data].
- Met Office Hadley Centre. (2023). *HadCRUT5 HadCRUT.5.0.1.0: Mean temperature anomaly* [Conjunto de datos]. Procesado por Our World in Data. <https://ourworldindata.org/grapher/hadcrut-surface-temperature-anomaly>
- NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team (2019). *Aster Global Digital Elevation Model V003* [DATA SET]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed

- Active Archive Center. Accessed 2023-10-28 from <https://doi.org/10.5067/ASTER/ASTGTM.003>
- Neeti, N. & Eastman, R. (2011). A contextual Mann-Kendall approach for the assessment of trend significance in image time series. *Transactions in GIS*, 15(5), 599-611.
- New, M., Hulme, M. & Jones, P. (1999). Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part I: Development of a 1961-90 Mean Monthly Terrestrial Climatology. *J Climate*, 12, 829.
- Onyutha, C., Turyahabwe, H. & Kaweesa, P. (2021). Impacts of climate variability and changing land use/land cover on River Mpanga flows in Uganda, East Africa. *Environmental Challenges*, 5, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100273>
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). Estado del clima en América Latina y El Caribe. https://library.wmo.int/viewer/28347/download?file=1295_WMO_State_of_the_Climate_in_LAC_2021_es.pdf&type=pdf&navigator=1
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*.
- Ruiz Álvarez, O., Espejel Trujano, D., Ontiveros Capurata, R. E., Enciso, J. M., Galindo Reyes, M. A., Quesada Parga, M. L., Grageda Grageda, J., Ramos Reyes, R., y Ruíz Corral, J. A. (2016). Tendencia de temperaturas máximas y mínimas mensuales en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(spe13), 2535-2549. Recuperado el 09 de marzo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342016000902535&lng=es&tlng=es
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Semarnat.
- Segundo-Sandoval, R., Manzano-Solís, L. R., Franco-Plata, R. y Cobián-Guerra, V. H. (2023). Tendencias espacio-temporales de precipitación y temperatura, así como cambios en clases climáticas de Köppen-Geiger en la subcuenca del río Sila, México (1956-2015). *Tecnología y Ciencias del Agua*, pp. 1-52.
- UN Food and Agriculture Organization (FAO). *Forest Resources Assessment*. – processed by Our World in Data. “Annual deforestation rate” [dataset]. UN Food and Agriculture Organization (fao). Forest Resources Assessment. [original data].
- Villalobos-González, A., Peña-Valdivia, C. B., Ramírez-Arias, J. A. y Sánchez-García, P. (2016). Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1651-1663. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.157>

LA GEOGRAFÍA CULTURAL DE LA CIUDAD DE TOLUCA, UN ACERCAMIENTO A LA CULTURA INMATERIAL DESDE UNA VISIÓN SIMBÓLICA

*Agustín Olmos Cruz**

RESUMEN

Este capítulo analiza la ciudad de Toluca, Estado de México, bajo el enfoque de la geografía cultural, con énfasis en el simbolismo que le caracteriza, de acuerdo con el aspecto natural que deriva en tradiciones y costumbres propias, producto de la herencia ancestral del lugar. Su objetivo es describir la espacialidad cultural de esta ciudad y la forma en que se contruye la realidad desde la perspectiva inmaterial, aspectos subjetivos más relevantes que componen la idiosincrasia del territorio toluqueño, construido a través del tiempo, y que se utilizan en la cotidianidad. La estructura está conformada con el fundamento teórico fenomenológico, que se centra en la experiencia y percepción de la comunidad, como experiencia vivida, también se apoya en Paul Claval, quien establece la forma en que se amalgama lo natural y lo social, y en Carl Sauer, quien muestra el vínculo entre el clima y la fisiografía del lugar. Para desarrollar este trabajo, se recurrió a la metodología cualitativa, específicamente la etnografía y la observación participante, pues la propuesta forma parte activa del entorno. El resultado fue la generación de un diagnóstico de tipo geográfico cultural que permite mostrar la aplicación concreta de esta especialidad, desde la perspectiva inmaterial, para entender cómo se expresa el contacto de la comunidad con el entorno en este mundo cambiante.

Palabras clave: Símbolo, Identidad, Cultura, Territorio.

* Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, aolmosc@uaemex.mx

INTRODUCCIÓN

Este capítulo se centra en analizar a la ciudad de Toluca, Estado de México, con base en el enfoque de la geografía cultural; estudiar la espacialidad cultural que crea hábitos y conductas, y definir identidades sociales, ya que esta ciudad se posiciona socioculturalmente través de la práctica cotidiana de las tradiciones y costumbres, y trasciende a las creencias, las cuales lleva al individuo a observar un tipo de comportamiento territorial.

La estructura del trabajo, sugerida para analizar la espacialidad cultural de la ciudad de Toluca, se basa en el enfoque inmaterial y fenomenológico, el cual plantea la división subjetiva de territorios (natural, equipado y organizado), como base para determinar las interacciones de la población y su trascendencia en los procesos sociales e interacciones que definen las dinámicas socioculturales.

Con el enfoque inmaterial y fenomenológico de la geografía cultural, se buscó alcanzar una comprensión ontológica de las conductas que muestran la huella de las acciones productivas en las diferentes épocas. Por ello, el paisaje es el factor central del estudio, y desde la perspectiva saueriana se pretende conocer cómo se modifica el territorio. Esta investigación se propuso identificar los elementos geográficos, como el relieve, el clima y la distribución espacial, que influyen en las prácticas culturales y en la configuración de la vida cotidiana de los habitantes de la ciudad. Asimismo, se explora la dinámica histórica, social y política que ha formado la cultura local y los desafíos y oportunidades que enfrenta en la globalización y en la modernización. En última instancia, este trabajo busca proporcionar una base sólida para el desarrollo de estrategias de preservación y promoción de la conservación del medio ambiente, así como para la planificación urbana y el manejo del territorio que sean sensibles a las particularidades del cambio dinámico y continuo.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La metodología que se utiliza de manera general para el desarrollo de estudios de la geografía cultural, principalmente, es de tipo cualitativo de corte descriptivo y fenomenológico, que de acuerdo con Hernández et al. (1998), “permite describir situaciones y eventos” y de esta manera conocer cómo se manifiestan temas como

identidad, educación, comercio, consumo (factor económico) o hábitos alimenticios, que generan problemas de salud o deterioro del medio ambiente, de acuerdo con la formación personal que cada individuo recibe.

Por tal motivo, la propuesta metodológica considera al método geográfico, que ayuda a ubicar y describir el aspecto natural del territorio en estudio. Con el método etnográfico se obtiene información directa del territorio a través de entrevistas y cuestionarios donde se desenvuelven los acontecimientos no estudiados. “Documentar lo no documentado” permite una elaboración cualitativa del contexto estudiado (Murillo y Martínez, 2010). El método fenomenológico busca plasmar la experiencia subjetiva de la comunidad y el estadístico ayuda con los procedimientos generales de organización de datos recopilados en campo, para el análisis y presentación mediante cuadros y gráficas.

Localización

Toluca es municipio y capital del Estado de México, cuenta con 125 municipios; se ubica a 67 kilómetros aproximadamente de la Ciudad de México. Tiene una superficie de 452.4 km², y se localiza en la zona central del país, siendo sus coordenadas geográficas 18°59'02" a los 19°27'09" de latitud norte; los meridianos 99°31'43" a los 99°46'58" de longitud oeste, como se observa en la Figura 1 del Estado de México.

Figura 1. Ubicación del municipio de Toluca



Fuente: Battroid (2011).

La ciudad está ubicada al pie meridional de cerros rocallosos que se extienden de oriente a poniente: Cerro la Teresona, Toloche, San Bernardino, San Miguel, San Juan Bernardino, Hutzila, encontrando el mayor asentamiento poblacional en un espacio sensiblemente plano, con una inclinación leve hacia el este y al sur, el Cerro del Cópore (Muñoz, 1942).

Área de Estudio

La ciudad de Toluca se asienta físicamente entre dos microrregiones naturales: la de la zona norte, que es un amplio valle en el que se encuentra ubicada la mayor parte de la población, y la de la zona sur, cuyas elevaciones son de 2 667 msnm a 4 600 msnm en la cima del Xinantecátl, cuarta mayor elevación del país.

Por sus características físicas, su clima está considerado como templado subhúmedo, ya que la latitud de 9°27'09" determina la intensidad mayor o menor de la radiación solar; en este sentido, los rayos solares tienen cierta oblicuidad, lo que establece una temperatura media anual de 14.7 °C (INEGI, 2022), con heladas de 80 a 140 días en la época fría de los meses de diciembre, enero, febrero y ocasionalmente en mayo.

Su calidad de vida en promedio es buena, ya que cuenta con todos los servicios básicos de primer orden; en este sentido, las calles están alumbradas por 44.87 luminarias, con un drenaje que abastece a 95% de las casas, presentando problemas en tiempo de lluvia por inundaciones, producto de la basura acumulada en calles y coladeras de drenaje. Además, cuenta con agua potable, electricidad, drenaje, teléfono, zonas verdes, áreas comerciales, administrativas, educativas, de salud y religiosas que generan el funcionamiento adecuado de la sociedad. En cuestión de agua potable, se abastece a 90% de la población, atendiendo a 937 994 habitantes; la distribución de este líquido se realiza de la siguiente manera: 37% en zona urbana, 32% en zona de crecimiento, 30% en zona de comités y 0.55% en zona de comités (sin servicio).

En referencia al comercio, el territorio tiene siete mercados establecidos, con dos tianguis, con seis plazas comerciales rústicas y cuatro modernas para satisfacer las necesidades básicas de la población. Con respecto a sus calles, existen primarias, secundarias o veredas. Las principales calles y avenidas se encuentran en el Centro

Histórico de la ciudad, cuyos nombres corresponden a héroes nacionales, que son símbolos de honestidad y patriotismo, como Benito Juárez, Miguel Hidalgo y Costilla, José María Morelos y Pavón, Sebastián Lerdo de Tejada, Sor Juana Inés de la Cruz; también las plazas adyacentes tienen nombres de héroes locales, como la Plaza Fray Andrés de Castro, Plaza González Arratia.

Viviendas

Las viviendas suelen ser de construcción moderna, con techos de concreto o teja, paredes de ladrillo o bloques de cemento, y acabados de buena calidad, en algunos casos tienen uno o dos pisos. De acuerdo con la teoría de los lugares centrales de Walter Christaller (1933), se establece que la parte central de una ciudad cuenta con edificios públicos de corte político-administrativo y religioso, como la catedral. En las zonas rurales, las viviendas pueden ser más tradicionales, construidas con materiales locales, como adobe, madera y teja.

En cuanto a su estructura arquitectónica, es simple y multiforme, suelen ser casas progresivas, la población complementa la construcción según los recursos económicos y materiales con los que cuenta. Los colores que más se utilizan en el pintado exterior son los tonos vivos, como amarillo, rojo, azul o verde, así como colores neutros, como el blanco, y la mayoría en tonos grises. En las áreas rurales, las viviendas suelen tener tonos más naturales por el uso de materiales, como el adobe y la madera, con colores terrosos como marrones, ocres y beige.

Educación

En cuanto a los servicios educativos, la ciudad cuenta con escuelas para todos los niveles, desde educación inicial, preescolar, primaria, secundaria, educación media superior y superior. Sin lugar a duda, siendo la capital del Estado de México, el servicio educativo es uno de los rubros más fuertes, por la infraestructura que presenta y logra atender a una gran cantidad de alumnos de la propia ciudad y fuera de ella.

Servicios religiosos

En el Centro Histórico se encuentran las siguientes iglesias: catedral metropolitana de San José, patrono de la ciudad desde 1519, y en su anexo está el Templo de la Tercera Orden, de estilo barroco popular, igual que la iglesia del Carmen, primer edificio religioso establecido en Toluca en 1519; el Templo de la Merced, San José el Ranchito y la iglesia de la Santa Veracruz. Ya en la periferia también existen templos e iglesias, como la de San Sebastián.

Servicios de salud

En la ciudad existen varias instituciones de salud que brindan servicios a la población, hospitales sectorizados, como el ISSSTE y el ISSEMYM; generales y de especialidad, como el oncológico, de la mujer y el infantil. Con estos servicios se brinda atención primaria y especializada a la población más vulnerable, que asiste no sólo de la ciudad, sino del valle de Toluca y otros municipios. De igual manera, existe atención alterna con farmacias que brindan servicio de atención médica primaria, establecidas en casi todas las colonias y pueblos de la ciudad.

METODOLOGÍA

El objetivo del trabajo es presentar algunas manifestaciones culturales de la ciudad de Toluca desde la dimensión simbólica, que conforma el espacio socialmente construido y que se materializa en el modelado de la superficie terrestre a través de las prácticas cotidianas que fortalecen el sentido de identidad y arraigo del lugar habitado. Esto implica analizar los patrones espaciales que influyen en los significados sociales creados por el hombre del lugar donde habita, para entender el papel que juega el territorio en la construcción de los marcos culturales, su estructura y sus elementos.

Se estructura esta metodología para desarrollar el trabajo mediante la aplicación de encuestas y entrevistas, además de la observación participante y el análisis de imágenes y paisajes, insumos para analizar el territorio, como forma de representar la relación entre la cultura y el espacio, lo que “permite describir situaciones y eventos” y de esta

manera conocer cómo se manifiestan los temas como identidad, educación, comercio, consumo (factor económico) o hábitos alimenticios (Hernández Sampieri, 1998).

ETAPAS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Las etapas que se proponen para la realización de un estudio con el enfoque de la geografía cultural se estructuran en tres pasos, principalmente:

1. Búsqueda y selección de la información bibliográfica
Revisión de textos del área de estudio, sobre todo en revistas especializadas, tanto físicas como digitales, empleando palabras clave, como cultura, geografía, espacio, fenomenología o paisaje.
2. Trabajo de campo
Consiste en realizar un recorrido sobre el área de estudio, reconociendo las principales características fisiográficas, tipo de clima, usos de suelo, fauna y vegetación. En este sentido, la escala de análisis a utilizar es muy importante, escogiendo la adecuada para no perder detalles de la información requerida en el recorrido que se realiza, para lo cual el mejor apoyo es de la cartografía participativa.
3. Determinación de técnicas
Con base en el reconocimiento de las características aereales, la recopilación de datos se genera con la aplicación de técnicas que permitan obtener información específica, que se aplica durante la visita a campo, para lo cual se apoya con instrumentos como el cuestionario y la entrevista. De igual manera, se usan las técnicas de análisis, como de contenido, estructura y narrativa, para identificar patrones culturales y su significado según las narrativas expresadas.

Con los pasos mencionados se puede iniciar un estudio geográfico-cultural, atendiendo las diversas temáticas que se convierten en problemáticas, como marginación, discriminación, desplazamiento de la población, obesidad, cultura del agua, las cuales

ayudan a comprender mejor el objeto de estudio mediante el análisis del territorio, que se divide en tres grandes aspectos: natural, equipado y organizado; lo anterior, permite determinar el orden o desorden paisajístico y así valorar el nivel de desarrollo cultural y económico.

Al estudiar el paisaje como territorio, éste se define como elemento esencial del Estado, base física sobre la que se asientan y desenvuelven las actividades del hombre (Quezada, 2018). Al establecer la relación intrínseca entre los tres aspectos del territorio, se plantea una guía para recabar la información de un lugar, sitio o barrio, de manera detallada, para descubrir la esencia de lugar; por ello, se definen los tres aspectos que componen el territorio y que se convierten en paisaje cultural.

a) El territorio natural

Es el espacio físico delimitado que incluye todos los materiales de la corteza terrestre, topografía, hidrología, suelo, flora y fauna y clima. La selección del área de estudio está definida por el investigador, quien tiene como premisa pertenecer al lugar de análisis.

b) El territorio equipado

Es el espacio físico que cuenta con los servicios básicos para que una población subsista; se consideran principalmente las obras de infraestructuras que ayudan a tener una calidad de vida aceptable. Se identifican los servicios públicos existentes en el lugar: agua potable; electricidad; drenaje; teléfono; calles pavimentadas; zonas verdes; áreas comerciales, administrativas, educativas, de salud y religiosas, las cuales generan el funcionamiento adecuado de la sociedad.

c) El territorio organizado

Se considera al espacio físico organizado y construido socialmente. Se materializa en un paisaje cultural, el cual es a la vez una concreción de relaciones histórico-geográficas. El paisaje cultural es resultado de cómo se ha ido modelando la superficie terrestre con el tiempo, mediante tradiciones, costumbres, creencias, hábitos, lenguaje y símbolos, considerados como la dimensión simbólica de la cultura, y de las actividades humanas que representan la concepción del mundo.

CATEGORÍAS DE ANÁLISIS

Se refiere a las tradiciones, costumbres, creencias, hábitos, símbolos, lenguaje o modismos y gastronomía.

- a) Variables
Religión, moral, educación, arte o estética, política, derecho, ciencia, filosofía.

Con estos parámetros se organiza la información como una memoria colectiva de un lugar, que dota de sentido a las prácticas cotidianas, sirviendo de referente la parte afectiva del territorio. El recorrido que se realiza por calles, áreas comerciales, lugares de ocio o las propias festividades logran cohesionar el aspecto cultural, haciendo más fácil el reconocimiento del espacio habitado, explicado desde la óptica geográfica.

Las posibles interpretaciones de las realidades económicas y culturales de la cabecera municipal se pueden sintetizar como evoluciones del sistema económico y las formas en que se organiza culturalmente, en la interacción social, lo que permite caracterizarla de acuerdo con los fenómenos que se presenten.

RESULTADOS

La identificación del espacio y la organización territorial de la ciudad de Toluca están ligadas a una cosmovisión antigua del Cerro del Dios Tolo, que data de los siglos anteriores a la llegada de los españoles al territorio, con la confrontación de ideas entre las culturas europea y autóctona y el desplazamiento ideológico y lingüístico que se dio de forma importante, como factores de ordenamiento del hábitat.

Con base en estos planteamientos y apoyados en Paul Claval, quien apunta a contextualizar las situaciones particulares de construcción de un patrón de convivencia cultural, se buscó seleccionar la configuración de intereses y actividades que identificaban con su entorno y su sociedad. Después se tomó como muestra a 10 localidades de los 24 pueblos existentes, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localidades muestra consideradas para el estudio

<i>Núm.</i>	<i>Localidad</i>	<i>Población total</i>	<i>Altitud</i>	<i>Coordenadas</i>
1	Colonia Morelos	4 893	2 689 msnm	19°17' N y 99° 40.13' O
2	Colonia el Seminario	5 937	2 747 msnm	19°16' N y 99° 40.98' O
3	San Pablo Autopan	35 141	2 618 msnm	19°21' N y 99° 39.53' O
4	Santa María Totoltepec	790	2 597 msnm	19°18' N y 99° 34.67' O
5	Arroyo Vista Hermosa	3 208	2 604 msnm	19°17' N y 99° 35.37' O
6	Santa Ana Tlapalatlán	15 600	2 639 msnm	19°16' N y 99° 37.04' O
7	Santa Bárbara	4 110	2 672 msnm	19°17' N y 99° 39.25' O
8	Capultitlán	5 900	2 725 msnm	19°14' N y 99° 38.53' O
9	San Andrés Cuexcontitlán	4 410	2 594 msnm	19°21' N y 99° 37.28' O
10	Santiago Tlacotepec	2 950	2 824 msnm	19°13.34' y 99° 40.12' O

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2010).

Con la identificación del espacio y del comportamiento social territorial, se ofrece una perspectiva simbólica que expresa claramente la relación hombre-naturaleza como forma de vida, pues todo está conectado con el entorno, con los individuos que lo integran, con lo que se establece en la forma de pensar y de actuar. La cultura dicta las reglas que se tienen que cumplir, como la forma de vestir, saludar, comer, comunicarse utilizando palabras específicas (lenguaje) y prácticamente la mayoría de las cosas que se hacen en la vida cotidiana.

Por ello, se presenta la cultura inmaterial o simbólica de la ciudad de Toluca, que establece como códigos con un gran significado y mantiene la cohesión social arraigada, pues tiene un rico patrimonio cultural reflejado en su arquitectura, arte, gastronomía y tradiciones, ejemplos: la Catedral Metropolitana, el Palacio de Gobierno estatal, el Museo de Arte Moderno y la tradicional Feria del Alféñique, entre otros. El Cuadro 2 presenta las principales tradiciones religiosas, culturales y gastronómicas de la ciudad.

Cuadro 2. Tradiciones religiosas, culturales y gastronómicas

<i>Tradiciones religiosas</i>	<i>Tradiciones culturales</i>	<i>Tradiciones gastronómicas</i>
Ritual de la Virgen de la Asunción	Feria de Toluca	Taco de carnitas
Ritual de Semana Santa	Día de la Independencia	Sopes
Ritual de Pentecostés	Noche de Rábanos	Tortas de Milanesa
Celebración del Día de Muertos	Quema de Judas	Huarache
Celebración de Navidad		Chorizo
Celebración de festividad de Año Nuevo		

Fuente: elaboración propia con base en la información recopilada en campo, mayo de 2021.

Éstas son las tradiciones más significativas de la ciudad de Toluca; se resalta el huarache, antojito que tiene su origen a los pies del Cerro Toloche, y que las autoridades de alguna manera le han destinado un lugar sobre el Paseo Matlazincas.

Principales costumbres

- Semana Santa: se tiene como costumbre hacer una representación en honor a Jesucristo, utilizando una gastronomía especial para la celebración, como el pescado y el revoltijo.
- Celebración del Día de la Independencia de México: es una tradición asistir a la plaza principal de la ciudad donde el gobernante da el emblemático grito de la Independencia, es una gran fiesta que se celebra con antojitos y baile.
- Día de Muertos: se acostumbra a poner ofrendas en las casas y hacer un camino de compasúchiles de la calle a la ofrenda; en algunas localidades pasan la noche en el cementerio, velando a los muertos.

- Navidad y Año Nuevo: la familia se reúne para celebrar el nacimiento del niño Dios, ritos que son evidentemente en la iglesia, como una forma de dar gracias.

Principales hábitos

- Ir a misa todos los domingos
- Ser personas solidarias, amables y respetuosas
- Poder contemplar la naturaleza
- Organización de comidas con música tradicional
- Las dinámicas de compras, cuando se establece plazas ambulantes
- Siempre ofrecer las cosas de voluntad
- Asistir a los parques para la socialización

PRINCIPALES CREENCIAS

La religión forma parte de la vida cotidiana de los habitantes de la ciudad de Toluca; por ese motivo, se asume que las principales creencias son de este tipo, se constata porque las festividades mayores son en honor al santo patrono de la ciudad, que en este caso es San José. Cada localidad también cuenta con un santo patrono, y las festividades son grandes, pues la celebración es con danzas autóctonas, ferias de los productos que se elaboran en la región y la típica gastronomía, así como juegos mecánicos y pirotécnicos. Las leyendas son parte de la idiosincrasia; por ejemplo, la llorona y el charro negro.

LA SIMBOLOGÍA DE LA CIUDAD DE TOLUCA

Toluca se convirtió en ciudad el 12 de septiembre de 1799, el monarca español Carlos IV le entregó el título y escudo, según el historiador Javier Romero Quiroz; desde entonces tiene un escudo heráldico, por lo tanto, el simbolismo ha formado siempre parte de la identidad territorial; en este sentido, éste se clasifica en dos vertientes: los símbolos naturales y los símbolos sociales.

SÍMBOLOS NATURALES

La simbología es un aspecto muy importante en el desarrollo de cualquier comunidad, ya que se idealiza el pensamiento espiritual relacionado con los factores naturales del entorno, haciendo únicos los símbolos; en este sentido, Toluca tiene al Nevado de Toluca, un aspecto cultural que respalda la identidad del municipio y del territorio del Estado de México. Asimismo, está el árbol de las manitas rojas, que es otro símbolo natural. En la Figura 2 se presenta la imagen del Nevado de Toluca, símbolo de la ciudad.

Figura 2. Vista de la ciudad y Nevado de Toluca



Fuente: TolucaLaBellaCd (2019).

Como símbolos naturales están también los siguientes: el Parque Sierra Morelos, Cerro Matlazinca o el Calvario, Parque Metropolitano; Cerro la Teresona. En cuanto a jardines utilizados como áreas de esparcimiento, se tiene al Parque Cuauhtémoc o Alameda Central, Jardín Reforma, Plaza de los Mártires, Parque Hundido, Jardín Zaragoza, Jardín Simón Bolívar y Plaza González Arratia.

Símbolos sociales

Se consideran símbolos sociales las edificaciones y signos que son característicos del lugar; por ejemplo, la Catedral Metropolitana, el Cosmovitral, los Portales,

construidos en el siglo XIX, el Teatro Morelos, la Casa de las Diligencias, la Sala de Conciertos Felipe Villanueva, Museos, las pirámides de Calixtlahuca, el Convento de los Franciscanos en Tecaxic, el Estadio de Fútbol Nemesio Díez (Bombonera), el monumento a Cristóbal Colón, a los Niños Héroe y a la Bandera.

Toluca es una ciudad altamente religiosa, pues existen en el primer cuadro los siguientes templos: Templo de Nuestra Señora del Carmen, Templo de la Santa Veracruz, la Catedral de Toluca, Parroquia del Sagrario, el Templo de Santa María de Guadalupe, el Santuario de Nuestra Señora de la Merced y el Templo de Santa Clara de Asís. Muchas de estas construcciones son antiguas y conservan la ornamentación característica.

Símbolos gastronómicos

Es muy característico que en la ciudad de Toluca se elabore el chorizo; por ese motivo tiene el apelativo de choricero, existen dos variedades de chorizo: el rojo tradicional y el verde, una modalidad que gusta; también existen neverías tradicionales como la Presumida. La Vaquita Negra del Portal es una tortería muy tradicional, la cual ha sido visitada por personajes célebres. La Miniatura es una tienda que vende licores típicos, y La Gloria es un lugar para tomar el más exquisito chocolate.

PRINCIPALES PROBLEMAS

Basura y manejo de residuos se han constituido como uno de los problemas significativos en las colonias de la ciudad. La acumulación de basura en áreas públicas y la falta de un sistema eficiente de recolección y reciclaje afectan la calidad de vida de los habitantes. La presencia de basura en calles y avenidas genera problemas de salud pública, contamina el medio ambiente, provoca inundaciones y deteriora la imagen urbana y rural del municipio, por lo que se requiere un buen plan que gestione los residuos sólidos.

Falta de agua

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de las poblaciones, en Toluca la cobertura según el INEGI (2020) es de 95%, el cual está conectado a una red de agua potable; sin embargo, hay escasez sobre todo en los meses de sequía. Otro problema fuerte es la infraestructura, la cual ya es muy antigua, tiene muchas fugas y el desperdicio es muy alto; por tal motivo, requiere mantenimiento y modernización. En este sentido, la cultura del cuidado del agua es muy elemental, ya que la población considera al vital líquido como de su propiedad y puede gastarla sin límites.

Falta de urbanización

El aumento de la proporción de la población que reside en zonas urbanas se ha convertido en un problema en la actualidad para la ciudad, pues los patrones de asentamientos se dan principalmente en las zonas de montaña; como ejemplo está el Cerro de la Teresona, donde los pobladores están construyendo sus casas en las pendientes de la elevación, son asentamientos no regulares que al final las autoridades regularizan y tratan de dotar de servicios básicos a un alto costo.

Contaminación visual y auditiva

La contaminación visual se observa dentro de la localidad, donde hay zonas en las que se presenta una cantidad más o menos tolerable de anuncios publicitarios, ya sean de la misma comunidad o de partidos políticos. Y la auditiva, que en ocasiones es por la gran cantidad de ruido provocado por la urbanización.

Reflexiones finales

La sociedad de Toluca ha elaborado una cultura, un ensamblaje de rasgos heredados y transmisibles que contribuyen a consolidar el territorio, partiendo de la base que es la etnia matlazinca la iniciadora del asentamiento, y a quien se le debe el nombre de

“Toluca”, en honor al Dios Tolo, cuyo centro ceremonial se encuentra en la montaña al norte de la ciudad; por este motivo se convierte en un territorio inmaterial, por las decodificaciones del espacio y la articulación de los sujetos y la sociedad, lo que da la identidad.

CONCLUSIONES

Con este estudio se describe la espacialidad cultural de la ciudad de Toluca desde la perspectiva simbólica, demostrando cómo la altitud, el relieve y el clima juegan un papel importante en la conformación de la cultura de un lugar. La combinación de métodos permitió analizar categorías como costumbres, tradiciones, creencias, hábitos y lenguaje, que al interactuar con el medio geográfico crean una identidad única.

Los resultados de las encuestas sugieren que la sociedad de Toluca es sumamente religiosa, y su vida social se centra en celebraciones a sus santos patronos. Se encontró que el conocimiento científico es menos atractivo para la población en comparación con sus creencias religiosas, lo que puede influir en el desarrollo económico del territorio.

Sin duda, la geografía cultural nos enseña a palpar el desarrollo de un país, estado o pueblo, mediante su simbolismo que manifiesta una sociedad que la identifica y se convierte en patrimonio, independientemente del nivel económico de la comunidad. La conjugación de métodos permitió crear posibilidades de estudio, tal como se muestra en el desarrollo de este trabajo realizado en la Ciudad de Toluca.

Finalmente, sin duda alguna la geografía cultural se ocupa de las múltiples relaciones e interacciones de la sociedad con el espacio geográfico, distinguiendo los componentes naturales, sociales y económicos que genera una expresión cultural definida de un territorio, lo cual se determina por su muy particular forma de pensar y estructura organizacional de la sociedad de manera natural.

“LA GEOGRAFÍA CREA IDENTIDAD”

REFERENCIAS

Ayuntamiento de Toluca (2016-2018). *Atlas de Riesgos, Fiestas patronales 2016*. Coordinación Municipal de Protección Civil. Consultado el 12 de octubre de 2021 en <https://www.>

- ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo/2016/51/7/044745d3381ac2fa07dc32ea1d3d2135.pdf
- Bauman, Z. (2009). *Modernidad Líquida*. Gedisa. www.catedraepistemologia.files.wodpress.com/2009/05/modernidad-liquida.pdf
- Battroid (2011). *Mapa de localización del municipio de Toluca en el Estado de México*. Wikimedia Commons. Consultado el 20 de junio de 2024 en https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mexico_Estado_de_Mexico_Toluca_location_map.svg
- Claval, P. (2002). *El enfoque cultural y las concepciones geográficas del entorno*. *Boletín de la A. G. E.*, (21-39). Consultado el 18 de octubre de 2021 en www.mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/pa/arquitectura_y_urbanismo/c20058142212paulclaval2002.pdf
- Cajal, A. (2016). *5 tradiciones y costumbres de Toluca de Lerdo*. <https://www.lifeder.com/toluca-lerdo-tradiciones-costumbres/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Consultado el 22 de octubre de 2021 en <http://www.censo2010.org.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Poblacion y Vivienda 2020*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. inegi.org.mx
- Chopra, D. (2007). *Cuerpos sin edad, mentes sin tiempo*. Byblos.
- Crang, M. (1998). *Cultural Geography: Routledge contemporary human*. Geography series.
- Durán, D. (2009). *La Cultura constituida espacialmente*. Blog de problemas espaciales mundiales, Carl Sauer. Consultado el 10 de octubre de 2021 en <http://es.scribd.com/doc/19643667/GEOGRAFIA-CULTURAL>.
- García Luna, O. M. (2013). *Toluca. Las casas antiguas de mi ciudad*. Secretaría de Educación/CEAPE/Patrimonio Natural y Cultural.
- Galindo y Villa, J. (1927). *Geografía de la República Mexicana*. Tomo segundo, Sociedad de Edición y Librería Franco-Americana.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., Baptista, L. P. (1998). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Poblacion y Vivienda 2020*. www.inegi.org.mx.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Informe de actividades y resultados 2022*. <https://www.snieg.mx/Documentos/InegiUCC/Informe/informe2022.pdf>
- Kramsch, O. (1999). *El horizonte de la nueva geografía cultural*. University of California-Los Angeles, Department of Urban Planning. School of Public Policy and Social

- Research. Consultado el 28 de enero de 2023 en www.ddd.uab.es/pub/dag/02121573n34p53.pdf
- Lora Cam, J. F. (2001). *Filosofía*. Tercer Mundo.
- Luna G., A. (1999). ¿Qué hay de nuevo en la nueva geografía cultural? En *Documents d'Anàlisi Geogràfica*. Núm. 34, Universitat Autònoma de Barcelona / Universitat de Girona, Bellaterra, pp.69-80.
- Monografía de Toluca de Lerdo (13 de abril de 2023). En http://es.wikipedia.org/wiki/Toluca_de_Lerdo
- Muñoz, L. (1942). *Toluca, corregidores, alcaldes y presidentes municipales (1564-1994)*. H. Ayuntamiento de Toluca 1994-1996.
- Oltra, B. (1995). *Cultura y tiempo*. Aguacilara.
- Oliva, P. F. J. (2016). Guía de trabajo de Geografía económica. Consultado el 18 de octubre de 2021 en <https://es.scribd.com/document/472156557/Guia-de-Trabajo-Geog-Econ-2>
- Quezada, M. M. (2018). *Léxico para el Desarrollo Político*. Timón Editores.
- Perevotchikova, M. (2012). *Cultura del agua en México. Conceptualización y vulnerabilidad social*. Porrúa.
- Philo, C. (1999). *Más palabras, más mundos: reflexiones en torno al «giro cultural» y a la geografía social*. En *Documentes d'Anàlisi Geogràfica*, 34, 81-99. Universitat Autònoma de Barcelona/Universitat de Girona.
- Soja, E. (1996). *Thirdspace: Journeys to los Angeles and other real-and-imagined places*. Basil Blackwell.
- Rojas, R. E., Viesca, G. F., Espeitx, B. E. y Quintero, S. B. (2016). El maguey, el pulque y las pulquerías de Toluca, Estado de México, ¿patrimonio gastronómico turístico? *PASOS: Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*. 14(5), 1199-1215.
- TolucaLaBellaCd (2019). *14 datos interesantes sobre la ciudad de Toluca*. <https://tolucalabellacd.com/2019/06/07/toluca/14-datos-interesantes-sobre-la-ciudad-de-toluca/>
- Zapata, S. J. L. (2011). *Geografía cultural y consumo. Revista de relaciones internacionales, estrategias y seguridad*, 6(2), Universidad Militar de Granada.
- Zusman, P., Haesbaert, R., Castro, H. y Adamo, S. (2011). *Geografías culturales*. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, www.filolo.uba.ar/conetnidos/investigacion/institutos/geo/librogeoculturalcompletocontapa.pdf

COMUNIDAD Y CIRCUNSCRIPCIÓN ECLESIAL DE LA PARROQUIA DE NUESTRA SEÑORA DE LOS DESAMPARADOS EN LA CIUDAD DE TOLUCA, 2023

*Yabel David Garduño Rayón**

*Agustín Olmos Cruz***

RESUMEN

La Iglesia católica utiliza sus propias delimitaciones territoriales, asociadas a diócesis, decanatos y parroquias, a modo de que circunscriban a los que integran estas jerarquizaciones por medio del criterio territorial. Un fiel pertenecería a una parroquia porque su domicilio se localiza al interior de la circunscripción territorial de ésta. Sin embargo, se ha reportado que, en ambientes urbanos, la mayoría de los fieles proviene de delimitaciones asociadas a otras parroquias. Este capítulo explora el papel de la delimitación territorial de la Parroquia de Nuestra Señora de los Desamparados en la ciudad de Toluca, como criterio para determinar a los fieles que la integran. Para ello, se estimó el total de la población que habita dentro de su circunscripción y el porcentaje de católicos. Se demuestra que la mayoría proviene de otra delimitación parroquial, lo que relega el criterio territorial como instrumento para determinar a los fieles que integran la parroquia. Se propone replicar este estudio en parroquia rural para comparar los hallazgos, así como realizar la cartografía completa de las delimitaciones parroquiales de toda la Provincia eclesiástica de Toluca. De igual manera, se promueve aplicar la metodología a nivel arquidiocesano con el fin de concentrar una base estadística que oriente a los miembros de la Iglesia en sus labores pastorales y aportar así a la gobernanza local.

Palabras clave: Circunscripción eclesial, Parroquia urbana, Carga pastoral, Geografía de la religión.

* Universidad Autónoma del Estado de México, ygardunor@alumni.uaemex.mx

** Universidad Autónoma del Estado de México, aolmosc@uaemex.mx

INTRODUCCIÓN

El estudio de los procesos e instituciones religiosas en la geografía se comprende principalmente dentro del contexto de la nueva geografía cultural, la cual se diferencia de la tradicional geografía cultural al abordar una cultura que es transformada debido a cambios de la teoría de la comunicación de las sociedades y su lingüística. Por tanto, no existe una sola cultura, sino una pluralidad de culturas, lo que apertura a estudiar las implicaciones de los procesos de índole religiosa.

En este marco, surge la geografía de la religión, que en Occidente ha focalizado sus estudios en la Iglesia Católica Apostólica y Romana debido a su elevado número de practicantes y su importancia histórico-cultural. Cabe aclarar que, como institución religiosa, la Iglesia católica está conformada por todos aquellos que reciben el sacramento del bautismo, por lo que incluye así tanto al clero como a los laicos. Su misión consiste primordialmente en realizar la pastoral, definida como el conjunto de acciones que continúan con el mensaje de salvación de Jesucristo (Ediciones Dabar, 2018). Estas acciones incluyen la evangelización y la catequesis, la celebración ritual por medio de la liturgia y aquella que engloba los campos de atención a la sociedad, como la salud, la juventud, la solidaridad social, la educación y el medio ambiente.

Desde sus orígenes en el siglo I, la Iglesia católica se organizaba en comunidades ciudadanas en torno a los apóstoles y a los pastores que éstos asignaban en su lugar. Con el paso del tiempo estos líderes asumieron su posición de obispos con responsabilidades delegadas a los presbíteros, sacerdotes que los ayudaban con la institución de los sacramentos, entre otras acciones. En el siglo IV la evangelización cristiana se extendió aún más al campo, por lo que los presbíteros se hicieron cargo de las responsabilidades pastorales en estas áreas rurales y se crearon las primeras parroquias (Ramos, 1995), que sustentan la base histórica de las parroquias actuales.

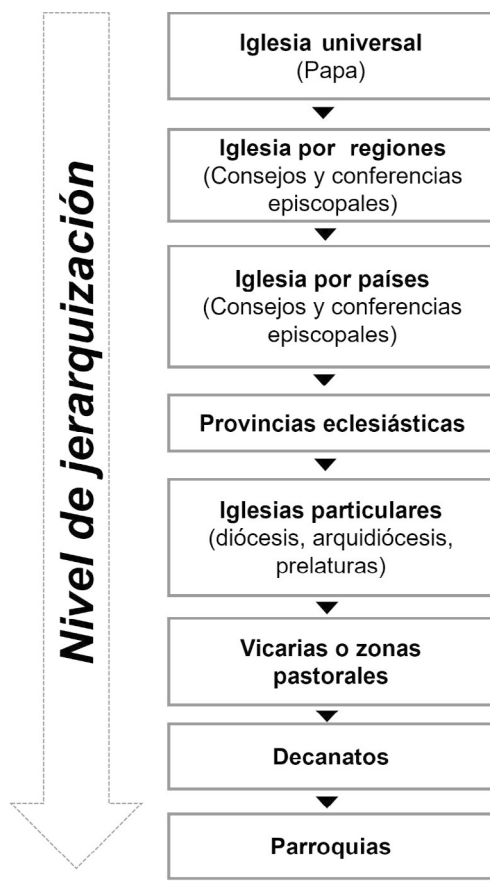
Desde los siglos IV y V, la parroquia significó una circunscripción menor a cargo de un presbítero, mientras que la diócesis se entendió como la circunscripción territorial mayor a cargo de un obispo (Floristán, 1998). La Iglesia organizó estas circunscripciones similares a las de la división administrativa del Imperio Romano (Delgado Galindo, 2001).

Debido a este antecedente, a inicios del siglo XX la parroquia era considerada como un territorio, al cual estaban vinculados tanto un grupo determinado de

fieles a través del domicilio como un párroco que ejercía los sacramentos (Delgado Galindo, 2001). El Concilio Vaticano II, realizado en Roma de 1962 a 1965, redefinió esta concepción al establecer a la Iglesia católica como “el conjunto de todos los bautizados”, así diócesis y parroquia transitaron a ser reconocidas como “porciones” de este conjunto. No se les considera ya como territorios, sino como grupos de fieles que poseen un pastor, un obispo para el caso de la diócesis y un párroco para el caso de la parroquia.

A pesar de lo establecido en el nuevo estatuto canónico, las delimitaciones territoriales continúan siendo funcionales, en primer lugar, al utilizarse como marco de acción territorial de la gestión religiosa. La geógrafa brasileña Rosendhal (2005) reconoce que existen tres niveles jerárquicos de gestión de lo religioso para la Iglesia católica: el primero se sitúa en la sede oficial del Vaticano, el segundo en la diócesis y el tercero en la parroquia. Si bien se podría identificar a éstos como los más importantes, pues en ellos se basa la estructura funcional básica de la Iglesia, hoy el resto de los niveles jerárquicos han cobrado relevancia debido a la insistencia de los líderes católicos de articular una “pastoral orgánica” y de ejercer la sinodalidad, que implica la participación y corresponsabilidad de todos los miembros de la Iglesia católica en la vida y misión de ésta (CTI, 2018).

Figura 1. Niveles jerárquicos de las circunscripciones eclesiales de rito latino para el caso de México



Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 1, el nivel que se sitúa después de la Iglesia universal cuya cabeza es el papa, son los consejos y conferencias de obispos a nivel nacional y regional que, siguiendo la colegialidad episcopal,¹ tienen como fin principal la cooperación para el bien común de las Iglesias particulares que les han sido confiadas (CTI, 2018).

¹ Término que se utiliza para designar a todos aquellos obispos que están en comunión con el resto de los obispos de la Iglesia y con el papa (Catecismo de la Iglesia Católica, #1559).

Para el caso de Latinoamérica como región, existe el Consejo Episcopal Latinoamericano y Caribeño (CELAM), y específicamente para México como país, la Conferencia del Episcopado Mexicano (CEM). La Iglesia de rito latino en México se estructura a su vez de provincias eclesíásticas, seguidas de las iglesias particulares (diócesis, arquidiócesis y prelaturas), las vicarías o zonas pastorales, los decanatos y por último las parroquias.

Esta jerarquización de circunscripciones territoriales es aprovechada para formular y aplicar proyectos pastorales de acción transversal, como el Proyecto de Pastoral Global 2031-2033 de la CEM, que motiva, desde las provincias hasta las parroquias mexicanas, a la creación de sus propios planes o proyectos de pastoral alineados con este documento.

No sólo las circunscripciones o delimitaciones eclesiales son aprovechadas para la gestión de la pastoral, sino también como instrumento principal para la delimitación de una comunidad católica y, de esta manera, establecer las “porciones del pueblo de Dios”, que son las diócesis y las parroquias. Este uso queda jurídicamente establecido en el Código de Derecho Canónico, especificando que la porción del pueblo de Dios que constituye una diócesis u otra Iglesia particular debe quedar circunscrita dentro de un territorio determinado, de manera que comprenda a todos los fieles que habitan en él (Codex Iuris Canonici, #372 § 1),² y que, para la parroquia, por regla general ésta ha de ser territorial, pues ha de comprender a todos los fieles de un territorio determinado (CIC, #518), los cuales han de recibir atención pastoral por parte de su párroco (CIC, #515 § 1).

De esta manera, a la mayoría de las parroquias al momento de su erección se les circunscribe una delimitación territorial con el fin de que todos los habitantes en su interior sean atendidos pastoralmente en ella. Esta práctica responde al objetivo de que en ésta se cree una “comunidad” basada en el establecimiento de relaciones sociales por “vecinazgo”, dada la residencia de los fieles en un mismo poblado. Esta asociación comunitaria se remonta al origen de la parroquia, fincada en las dinámicas de una población rural europea, en donde las comunidades eran principalmente constituidas con base en la cooperación en las actividades agrícolas y los lazos familiares (Bertrand y Rodríguez, 1996).

² Fue utilizada la guía publicada en la *Revista de Educación Religiosa* (2023) para la citación de textos religiosos en formato APA 7ª ed.

Sería importante considerar que, en especial para las parroquias de orden urbano, es posible que este criterio “territorial” como delimitador de la comunidad sea relegado debido a los procesos de movilización dentro de las ciudades y la libertad del fiel de poder elegir la parroquia a la cual asistir a las celebraciones religiosas, o de integrarse al grupo parroquial de su elección. En este capítulo se hipotetiza que la mayoría de los fieles que conforman las parroquias urbanas poseen su domicilio en otras circunscripciones parroquiales. Si éste es el caso, el criterio domiciliario es impreciso para determinar el tamaño de los que integran la comunidad de una parroquia urbana, lo que apertura la necesidad de idear nuevos tipos de metodologías para su estimación.

El cálculo del tamaño de una comunidad parroquial es especialmente relevante para que las instituciones religiosas conozcan el número de feligreses que atiende un párroco o un conjunto de párrocos, lo que se conoce como “carga pastoral”, que de acuerdo con la descripción de Bertrand y Rodríguez (1996) se obtiene efectuando el siguiente cálculo:

Ecuación 1. Cálculo de la carga pastoral

$$\text{Carga pastoral} = \frac{\text{Número de almas} \quad (\text{Habitantes de la circunscripción eclesial})}{\text{Número de párrocos}}$$

Fuente: Bertrand y Rodríguez (1996).

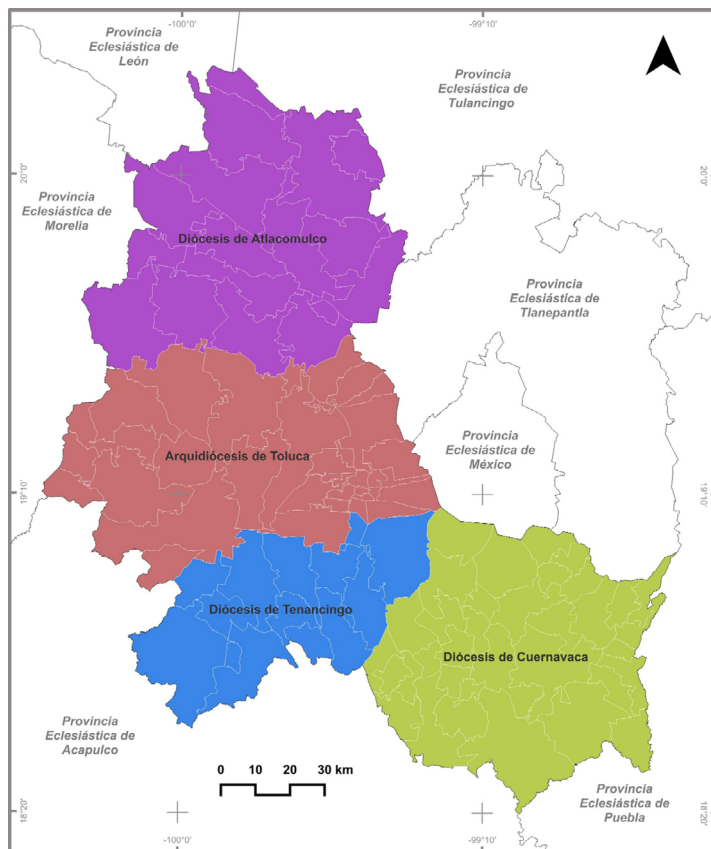
El conocimiento del número de fieles por parte no sólo del párroco, sino también de todos los encargados y coordinadores de los grupos parroquiales, permitirían establecer las bases de acciones pastorales concretas, apoyadas por estudios empíricos cuantitativos de las características sociales y demográficas de los feligreses.

ÁREA DE ESTUDIO

Para realizar esta investigación, se eligió a la Parroquia de Nuestra Señora de los Desamparados, una parroquia urbana localizada en la ciudad de Toluca y cuyos miembros reportaban en los últimos años una mayoría de fieles que poseían sus domicilios en otras circunscripciones parroquiales.

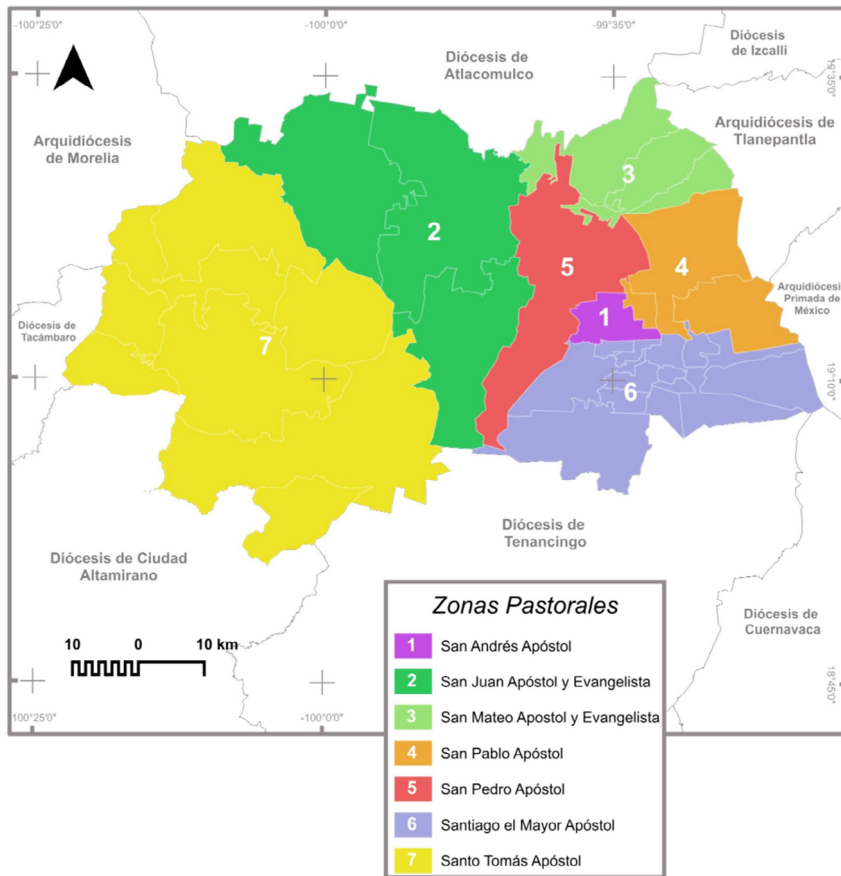
A esta parroquia le corresponde la jurisdicción del arzobispo de la arquidiócesis de Toluca, que originalmente fue erigida como diócesis por el papa Pío XII el 29 de septiembre de 1950, formando parte de la Provincia Eclesiástica de México. El 28 de septiembre de 2019, el diario oficial *L'Osservatore Romano* informó que el papa Francisco había decidido crear las diócesis de Azcapotzalco, Iztapalapa y Xochimilco con el fin de atender al incremento de población católica en la Ciudad de México, por lo que ascendió a arquidiócesis la diócesis de Toluca, estableciendo así la Provincia Eclesiástica de Toluca, junto a las diócesis de Atlacomulco, Tenancingo y Cuernavaca (Mata, 2019), como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Iglesias particulares de la Provincia Eclesiástica de Toluca



Fuente: CEM Cáritas Mexicana y Arquidiócesis de Toluca (2023).

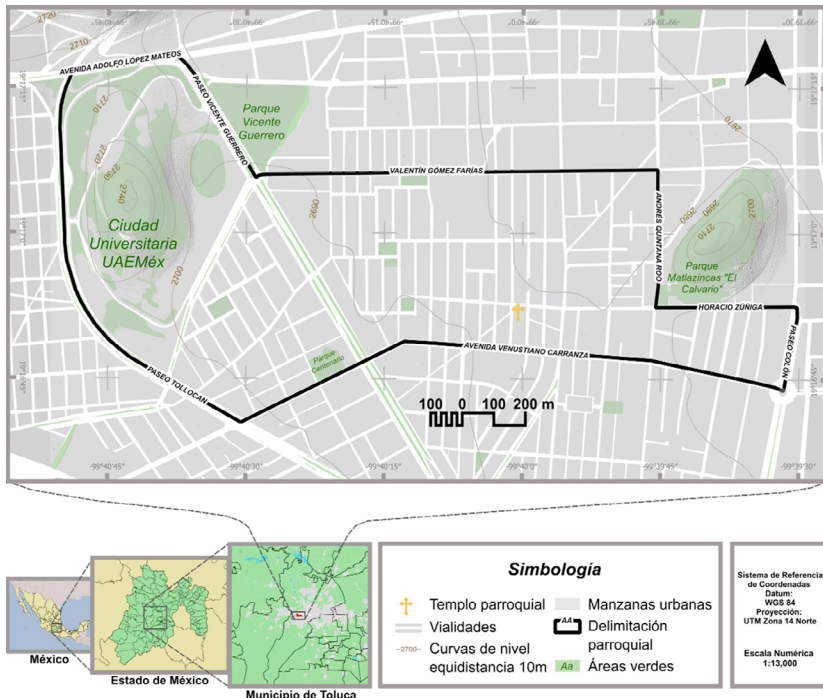
Figura 3. Zonas pastorales de la Arquidiócesis de Toluca



Fuente: Arquidiócesis de Toluca (2023).

La arquidiócesis se subdivide en siete zonas pastorales (véase la Figura 3) y éstas a su vez en dieciséis decanatos, con un aproximado de dos a tres decanatos por zona pastoral. La parroquia de estudio se localiza en la zona pastoral de San Pedro Apóstol, equivalente al municipio de Toluca, y en el decanato de San Carlos Borromeo. Fue erigida el 28 de septiembre de 1972, con el fin de atender a los nuevos fieles que empezaban a habitar la recién creada colonia Morelos y las áreas en proceso de urbanización circundantes. Con su erección, se le asumió la circunscripción territorial que se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Delimitación de la parroquia de Nuestra Señora de los Desamparados, Arquidiócesis de Toluca



Fuente: elaboración propia con los datos proporcionados por la oficina de la Parroquia de Nuestra Señora de los Desamparados (2023).

ANTECEDENTES

En la geografía cultural clásica los estudios se limitaban a las comunidades de los espacios rurales, a escalas de análisis regionales; sin embargo, estas tendencias cambiaron en los años setenta con la aparición de nueva geografía cultural, en donde ahora se involucra a los grupos sociales urbanos a escalas locales (Claval, 2002). Bajo este nuevo enfoque, autores han abordado a la Iglesia católica por medio de estudios territoriales en las grandes urbes.

En Europa numerosos estudios se han enfocado en la parroquia como comunidad católica, sobre todo porque ésta supone un antecedente político y cultural de las

actuales jurisdicciones civiles. Tal es el caso de Irlanda, en donde O'Mahony (2014) concluye que los límites de las parroquias no se han reformulado para considerar nuevos aspectos del paisaje que surgieron.

En España, por otro lado, las investigaciones parroquiales llevadas a cabo por René Bertrand se presentaron como un enfoque novedoso en la década de los noventa y en la de 2000, dentro de las investigaciones sobre geografía social y geografía histórica, especialmente porque las parroquias, al igual que en Irlanda, constituyen la actual base que reconstruye el panorama de la estructura socioterritorial y político actual de Galicia, pues la actual división de provincias españolas sustituyó a la división provincial que conservaba sustancialmente los límites de las diócesis (Bertrand y González, 1996).

Leduc (2001) analiza un documento cartográfico que plasma la reorganización pastoral de la ciudad de Cambrai en Francia y admite que son las parroquias urbanas las más difíciles de reconstruir en sus límites territoriales. Santiró (2004) analiza una reforma similar que se aplicó en México en el virreinato, con *El nuevo orden parroquial de la ciudad de México: población, etnia y territorio (1768-1777)*, en donde estudia la reforma parroquial del arzobispo Ledezma.

También ha sido abordada la parroquia y su territorio desde el punto de vista canónico, en estudios teóricos como la tesina de Miguel Aguiló (2019) para obtener el Título de Licenciado en Derecho Canónico por la Universidad Católica de Valencia, titulada *La parroquia, entre comunidad y territorio*. Aquí analiza a la parroquia territorial y su relación con su definición comunitaria a la luz de lo establecido en el Código de Derecho Canónico.

METODOLOGÍA

Con el fin de comprobar la hipótesis, se plantearon dos objetivos principales: estimar el tamaño de la comunidad de fieles o la carga pastoral y conocer la procedencia de otras parroquias de acuerdo con la localización de su domicilio.

En primer lugar, se realizó la cartografía de las circunscripciones eclesiales que la enmarcaban por nivel de jerarquización, hasta desagregar a nivel parroquial, exceptuando la cartografía de los decanatos y de las parroquias que los conforman, debido a que al momento de realizar esta investigación no se contaba con esta

información concentrada que supone un trabajo más amplio recabarla, por lo que sólo se cartografió la delimitación de las parroquias circundantes consultándolas a través de sus respectivas oficinas parroquiales.

Una vez digitalizada la circunscripción parroquial se consideraron las manzanas con su respectiva información censal obtenida en 2020 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con el objetivo de conocer el total de población habitante de la circunscripción parroquial y su porcentaje de católicos.

La segunda fase consistió en conocer el número de individuos que conformaban la comunidad parroquial y, por lo tanto, la carga pastoral que representaban para su párroco. Esto fue mediante un conteo de los miembros activos de cada grupo parroquial, con antigüedad mayor a tres meses. En segundo lugar, se contabilizó la asistencia durante el periodo de un mes de todas las misas de precepto u obligatorias, exceptuando aquellas en las que existía alguna celebración especial para evitar sesgos, debido a la presencia de fieles que sólo asistían con motivo de la fiesta o razón social y no formaban parte de la comunidad.

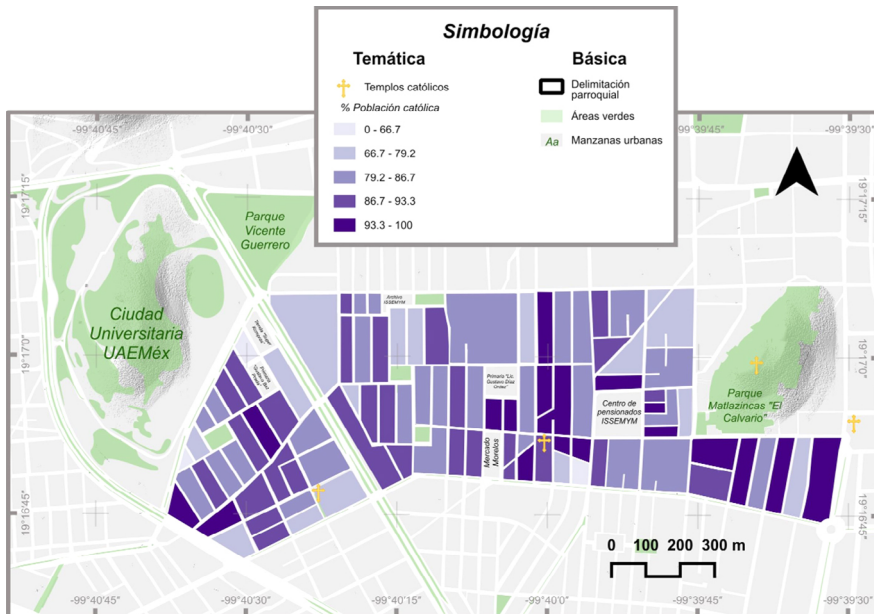
Una vez contabilizado el total de fieles que conformaban la parroquia se consideró a este universo para el cálculo de la muestra, con un estándar de 95% de nivel confianza y 5% de margen de error. A esta muestra se le aplicó una encuesta de procedencia parroquial por medio de Google Forms para conocer el nombre de la parroquia de la cual procedían los fieles, de acuerdo con la localización de su domicilio. Fue aplicada durante las misas dominicales de precepto en un fin de semana, tanto en el templo parroquial como en la capilla. Si procedían de la circunscripción asignada a la parroquia, entonces estos feligreses se catalogaron como “vecinos” de acuerdo con el canon (CIC, #100). En caso contrario, se les solicitó especificar de qué parroquia procedían de acuerdo con este mismo criterio y se les clasificó como “transeúntes”.

A estos transeúntes se les aplicó entrevistas semiestructuradas grabadas, bajo previa autorización, con el propósito de conocer las razones que los motivaban a asistir a la parroquia y no a la que les correspondía. La aplicación de entrevistas se completó cuando se obtuvo una suficiencia de datos que, según Gómez et al. (1996), se consigue cuando se llega a un estado de “saturación informativa” y la nueva información no aporta nada nuevo.

RESULTADOS

De acuerdo con los datos proporcionados por el INEGI a través del Censo de Población y Vivienda del 2020, dentro de la delimitación parroquial residía un total de 7 200 habitantes, de los cuales 5 648, que representan 85.4% de este total, se considera como católico, mientras que el 14.6% restante posee otras creencias religiosas. La distribución de las manzanas con el mayor porcentaje de católicos se concentra principalmente en la zona oeste y en el centro sur, a una distancia no mayor a 300 metros de los principales templos, dentro y fuera de la delimitación parroquial (véase la Figura 5).

Figura 5. Población católica por manzanas de la delimitación parroquial



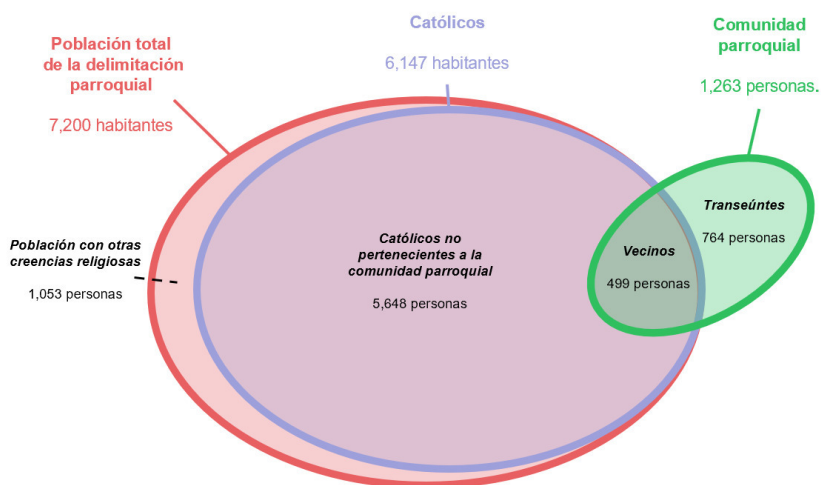
Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020).

De acuerdo con el cálculo realizado para estimar el número de fieles que pertenecía a la comunidad parroquial, 317 personas integraron un grupo parroquial, mientras que 946 participaron en las misas de precepto dominical, conformando así un total de 1 263 fieles o número de almas que reciben seguimiento pastoral en la parroquia.

Ya que se confirmó que el párroco no atiende otra parroquia más que a ésta, la carga pastoral se conforma sencillamente por el total de número de fieles.

El 39.5% de la comunidad posee su domicilio dentro de la delimitación parroquial, catalogando así a 499 fieles como vecinos. Éstos, a su vez, corresponden tan sólo a 8.11% del total de habitantes católicos de la delimitación parroquial, como se observa en la Figura 6.

Figura 6. Diagrama de Venn de la población de la delimitación parroquial y los integrantes de la comunidad parroquial

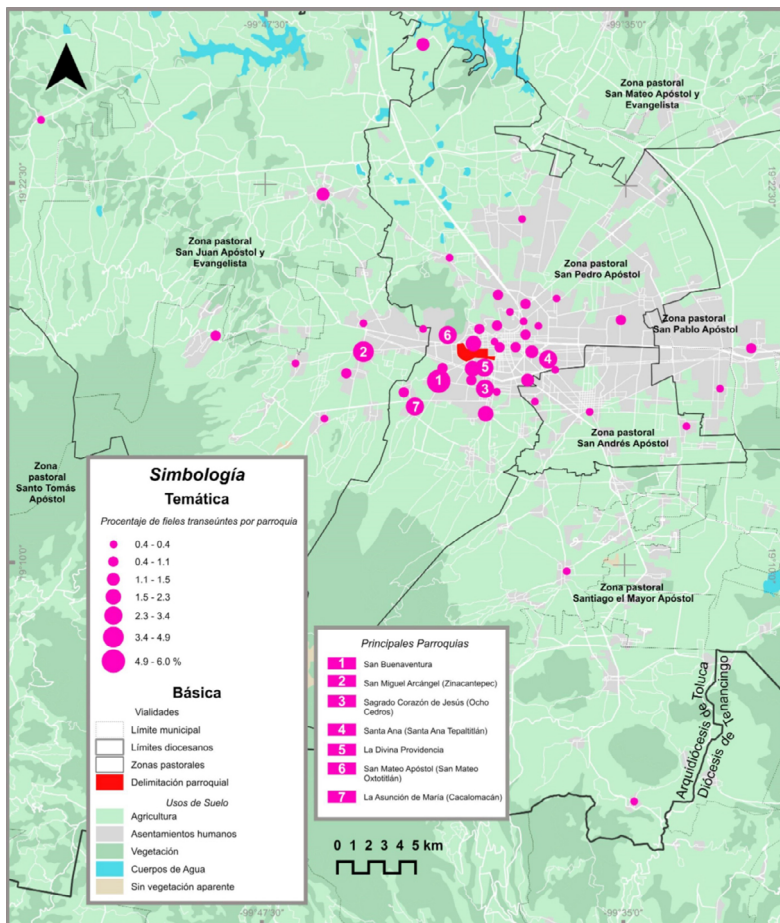


Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2020) y los resultados de la encuesta aplicada.

Los transeúntes, por otro lado, conformaron el 60.5% restante, lo que representa la mayoría de la comunidad parroquial. De acuerdo con los resultados de la encuesta, las parroquias de las cuales los fieles provenían por criterio domiciliario fueron principalmente de la parroquia de San Buenaventura en la delegación del mismo nombre, aportando 6% del total; de la parroquia de San Miguel Arcángel en la cabecera municipal de Zinacantepec, con 4.9%; de la parroquia del Sagrado Corazón de Jesús, de la colonia Ocho Cedros, con 3.4%, y de las parroquias de Santa Ana, en la delegación de Santa Ana Tlapaltitlán, de la Divina Providencia y de San Mateo Apóstol, en San Mateo Oxtotitlán, con 3% cada una.

La Figura 7 muestra la distribución espacial de estas parroquias, de las cuales los fieles transeúntes indicaron proceder. Se concentran principalmente en la zona pastoral de San Pedro Apóstol. También provienen de otras zonas pastorales, como la de San Juan Apóstol y Evangelista y la de San Pedro Apóstol. Aquellos ubicados a mayor distancia lineal y recorrida son los que tienen sus domicilios en las parroquias del Señor de los Milagros en el municipio de Villa Victoria, y de San Pedro Apóstol Zictepec en el municipio de Tenango del Valle.

Figura 7. Procedencia parroquial de los fieles de acuerdo con su domicilio



Fuente: elaboración propia con base en la encuesta aplicada.

De acuerdo con lo recabado en las entrevistas, los transeúntes encontraban atractivo el hecho de que, hasta el momento de realizada la investigación, la parroquia fuese la única en la ciudad de Toluca que contaba con una capilla de Adoración Perpetua, donde se expone el Santísimo Sacramento, la más importante manifestación sagrada para los católicos. Además de este motivo, destacaron la flexibilidad de horarios de las celebraciones eucarísticas, la oferta de cursos de catequesis escolarizada y al sacerdote que ofrecía “buenas” homilías, había construido y remodelado las instalaciones, y atrajo consigo miembros de la parroquia del Sagrado Corazón de Jesús de Ocho Cedros de la cual fue pastor anteriormente.

La mayoría había conocido la parroquia por recomendaciones de otros familiares y amigos, se habían integrado a la comunidad por medio de retiros o por invitación a otras actividades de los diferentes grupos parroquiales. También existían personas que, por concurrir la zona por escuela o trabajo, identificaban a esa parroquia como un punto de encuentro religioso.

DISCUSIÓN

Las delimitaciones parroquiales de la arquidiócesis de Toluca no se encontraron disponibles en un acervo cartográfico integrado o digitalizado. La ausencia de esta información generó notables sesgos en los porcentajes de la procedencia parroquial. Se puede asumir la posibilidad de que, cuándo los encuestados desconocían la delimitación parroquial que le correspondía, pudiesen haber referido sus respuestas a la parroquia que asociaban por identidad o proximidad a sus domicilios y no por las que necesariamente los inscribiesen. Otro factor por el cual podría presentarse un sesgo en los datos obtenidos en la encuesta es considerar la posibilidad de un caso similar al que encontró O'Mahony (2014), en donde las delimitaciones actuales de las parroquias católicas irlandesas no se han reformulado para considerar nuevos aspectos del paisaje. De esta manera, podrían existir espacios que hayan sido habitados en años recientes que no estén contemplados en ninguna circunscripción parroquial.

Dada la composición de la comunidad parroquial de una considerable mayoría transeúnte se puede afirmar, al menos para el caso de la parroquia en cuestión y al tiempo de realizado este estudio, que el criterio territorial ha sido relegado en su

función de delimitador parroquial. Tampoco podría considerarse para identificar a los vecinos, pues no corresponden ni a una décima parte de los católicos que habitan en la delimitación. A pesar de ser minoría, para Floristán (1998) estos vecinos tienden a ser creyentes con mayor convencimiento de su fe, y destacan dado el alto grado de incredulidad o de agnosticismo que se da en la ciudad. Los católicos restantes que habitan dentro de la delimitación, pero que no forman parte de este grupo, bien pueden asistir a otras parroquias de su elección o pueden ser católicos no practicantes.

Ya que en este caso el criterio territorial para identificar a los miembros de la parroquia ha sido relegado, el cálculo de la carga pastoral, tal como lo mencionan Bertrand y Rodríguez (1996), ya no podría también ser válido. En su lugar, el cálculo de las “almas a pastorear” o comunidad parroquial puede basarse en el concepto de parroquia de Aguiló (2019), que la considera como todos aquellos fieles que reconocen a su párroco como propio, y acuden a recibir cura pastoral de él. Este pastoreo puede efectuarse ya sea asistiendo a las celebraciones de precepto u otras atenciones, aunque también puede realizarse indirectamente por medio de las actividades de los grupos parroquiales, que a su vez están bajo jurisdicción del párroco.

Para casos prácticos, se presenta una alternativa a fin de calcular el total de miembros de la comunidad parroquial, considerando la asistencia, en primer lugar, a las misas de precepto dominical y de las fiestas, que tradicionalmente se marcan como obligatorias. Es preciso tener en cuenta que, aunque estos fieles asistieran semanalmente, no se podría conocer si cumplen con esta obligación en otra parroquia, dado que son libres de elegir participar en una misa en cualquier otro espacio donde se celebre, por lo que se propone calcular un promedio de asistencia mensual (variable Ad). A la variable Ad se le incluyen, en segundo lugar, a aquellos que asisten a las reuniones de los grupos parroquiales (Gp).

La sumatoria de ambas constituye así el cálculo de la carga pastoral, considerando que existen integrantes de los grupos parroquiales que asisten también a las celebraciones de precepto (Gd). Se puede expresar en una ecuación basada en la propuesta por Bertrand y Rodríguez (véase Ecuación 2), la cual se simplifica asumiendo que el dividendo, el número de párrocos, es de 1, pues a cada parroquia le corresponde sólo un párroco como pastor propio de acuerdo con el canon.

Ecuación 2. Carga pastoral de un párroco

$$Carga\ pastoral = Gp + (Ad - Gd)$$

Fuente: elaboración propia.

En donde:

Gp = Integrantes de algún grupo parroquial

Ad = Asistencia dominical promedio mensual

Gd = Integrantes de algún grupo parroquial que asisten a las misas de precepto dominical multiplicado por el número de misas en las que sirven.

El anterior cálculo se efectuaría suponiendo que existe un párroco para cada parroquia, una igualdad entre el número de párrocos y el número de parroquias. Sin embargo, existen numerosos casos, como los reportados por Bertrand y González (1996) en Europa, en donde por falta de vocaciones sacerdotales existen curas que se hacen cargo de hasta tres o cinco parroquias, aumentando su carga pastoral. Para este caso, se efectuaría el cálculo:

Ecuación 3. Carga pastoral de varias parroquias de acuerdo con la disponibilidad de párrocos

$$Carga\ pastoral = \frac{[Gp_1 + (Ad_1 - Gd_1)] + [Gp_2 + (Ad_2 - Gd_2)] + \dots + [Gp_n + (Ad_n - Gd_n)]}{\text{Número de párrocos}}$$

Fuente: elaboración propia.

La ecuación también se puede aplicar a otras escalas, que involucren tanto a un indeterminado número de parroquias como de párrocos asignados. Así, se puede obtener la carga pastoral promedio en una circunscripción eclesial como una diócesis.

Dado que existen incluso fieles que asisten a más de una parroquia, es importante evitar esta duplicidad de la información. Se considera necesario que este cálculo se

complemente de métodos como el registro parroquial de forma obligatoria, similar a los que se aplican en parroquias de Estados Unidos de América, en donde los miembros de una comunidad parroquial o parroquianos se inscriben vía online. El registro se concentraría en una base de datos diocesana o provincial, actualizando la información de cada fiel, en caso de que éste decida empezar a asistir a otra parroquia.

Es importante considerar el caso de aquellas personas que por su condición no puedan integrarse en este registro y que le otorgan un gran dinamismo temporal al cálculo total de una comunidad católica, variando en un rango temporal de horas. Tal es el caso de la persona sin hogar, identificada como “Paquito”, a quien se observó movilizarse mayormente dentro de la delimitación parroquial, haciendo su aparición dentro del templo o las capillas. Aunque debido a sus condiciones de salud mental no podría participar activamente de la comunidad, si se considera lo explicado en el canon (CIC, #107 § 2). El párroco que a Paquito le correspondería sería aquel de la delimitación parroquial en donde se encuentre. Es así como pertenecería a una nueva parroquia en el momento en que cruce la vialidad que delimite su circunscripción territorial.

Durante el transcurso de la investigación se observó que éste y otros individuos eran recibidos en el templo de Nuestra Señora de los Desamparados al frecuentar algunas celebraciones, en las cuales se les otorgaban algunas monedas e incluso eran referidos por el párroco en sus homilías. Si estas personas se desplazaban a una parroquia donde no fuesen bien recibidos, aunque estuviera dentro de su delimitación, se convertían en “sin lugares”, como lo menciona Ramírez Velázquez y López Levi (2015), dado que se encontrarían fuera de su origen. Este origen no sería su lugar de nacimiento o donde viven, pues no poseen techo, sino más bien del lugar donde son aceptados al formar parte cultural de los que ahí habitan, ya que son individuos característicos que se han visibilizado en los lugares de la parroquia y, por lo tanto, ligados a su identidad. De esta manera, se incluyen dentro del cálculo de la comunidad parroquial.

Las características de la parroquia como espacio sagrado, los servicios que ahí ofrecen y otros rasgos únicos de su comunidad motivan a los transeúntes a integrarse con la comunidad parroquial. No se descarta que las injerencias del costo y tiempo recorrido puedan disminuir la frecuencia de asistencia de aquellos que poseen su domicilio a una mayor distancia respecto al templo parroquial. Éstas y otras razones

personales, incluyendo las espirituales, motivarían a los fieles a abandonar su actual comunidad parroquial para integrarse a una nueva que le satisfaga, agregándole dinamismo al tamaño de ambas feligresías, tanto de la que abandonó como de la que se integró.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha confirmado que la delimitación territorial de la parroquia urbana de Nuestra Señora de los Desamparados hoy ya no es válida como criterio objetivo para definir a los feligreses que la integran, tal como lo indica el canon. En su lugar se deben proponer metodologías como la que aquí se plantea para estimar su magnitud, aplicadas dentro de los espacios sagrados donde se reúnan los miembros de la parroquia.

El resultado proporcionará a los párrocos información acerca de la carga pastoral que se les encomienda y las parroquias de donde proviene por criterio domiciliario. Este cálculo sustenta una base de futuros estudios demográficos dentro de las parroquias, a fin de conocer estadísticas de edad, sexo, nivel socioeconómico, entre otras, así como de estudios de la vida espiritual de los fieles realizando, por ejemplo, un seguimiento de sus sacramentos tras el bautismo. Además, podrían aportar información relacionada con la atracción religiosa y espiritual de los lugares sagrados, que indique las motivaciones de los fieles de asistir a una parroquia distinta a la que pertenece su domicilio. De su diagnóstico dependerá el desarrollo de planes y proyectos parroquiales de pastoral.

Se propone realizar un proyecto aplicado a la arquidiócesis de Toluca, con el objetivo de cartografiar las delimitaciones territoriales de las parroquias, y con ellas de los decanatos que la conforman. Esta cartografía se realizaría con la finalidad de valorar si estas delimitaciones consideran las nuevas áreas. El siguiente paso consistiría en reestructurar sus delimitaciones, o si se precisa, erigir nuevas parroquias considerando, además, futuras áreas habitables con apoyo de estudios que predigan los cambios de uso de suelo.

Las circunscripciones, una vez ajustadas, pueden ser consideradas para efectuar estudios de procedencia parroquial por domicilio, y de esa manera se reduzcan los sesgos anteriores mencionados. Una constante actualización de los datos obtenidos sería útil para analizar la evolución de las preferencias de los fieles.

Ya que los nuevos límites parroquiales no se utilizarían con el fin de delimitar a las comunidades parroquiales, especialmente las urbanas, serían más bien instrumento de gestión arquidiocesana para impulsar el desarrollo de una “pastoral en salida”, tal como lo menciona el papa Francisco (2013) en su exhortación *Evangelii gaudium*. De esta manera, cada comunidad parroquial, independientemente de la composición y procedencia de sus fieles, podrá impulsar acciones pastorales y de evangelización al interior de la delimitación que le corresponde.

Una última propuesta consiste en realizar estudios de esta clase a distintos niveles de organización eclesial y en distintos contextos, como una comunidad rural donde se observe o reporte una mínima cantidad de transeúntes y se realice un mayor número de actividades religiosas.

REFERENCIAS

- Aguiló Furió, D. M. (2019). *La Parroquia, entre comunidad y territorio: cánones 515 §1 y 518* [Tesis]. <http://hdl.handle.net/20.500.12466/1237>
- Arquidiócesis de Toluca. (2023a). *Provincia Eclesiástica*. <https://arquidiocesistoluca.org.mx/provincia-eclesiastica/>
- Arquidiócesis de Toluca. (2023b). *Zonas Pastorales*. <https://arquidiocesistoluca.org.mx/regiones-pastorales>
- Bertrand, J. R. y González, R. C. L. (1996). Espacio, territorio e religión. *Semata: Ciencias sociales e humanidades*, (7), 535-577.
- CEPS-Caritas Mexicana (2018). *Circunscripciones Eclesiásticas de México*. <https://www.consolataamerica.org/es/wpcontent/uploads/2020/09/Mapa-Provincias-y-Diócesis-del-Pais-1536x9>
- Claval, P. (2002). El enfoque cultural y las concepciones geográficas del espacio. *Boletín de la asociación de geógrafos españoles*.
- Comisión Teológica Internacional. (2018). *La sinodalidad en la vida y en la misión de la Iglesia*. https://www.vatican.va/roman_curia/congregations/cfaith/cti_documents/rc_cti_20180302_sinodalita_sp.html#
- Del Portillo, Á. (1969). Dinamicidad y funcionalidad de las estructuras pastorales. *Ius Canonicum*, 9(18), 305-329.

- Delgado Galindo, M. (2001). Los principios de territorialidad y personalidad y las circunscripciones eclesiásticas personales. *Ius Canonicum*, 51(82), 607-629.
- Ediciones Dabar. (2018). La pastoral es la acción de la Iglesia con la que realiza su misión en el mundo. *Blog*. <https://dabar.com.mx/pastoral-iglesia-catolica-caracteristicas-tipos-ejemplos>
- Floristán, C. (1998). *Para comprender la parroquia*. Verbo Divino. <https://verbodivino.es/hojear/710/para-comprender-la-parroquia.pdf>
- Francisco. (2013). *Evangelii gaudium: exhortación apostólica sobre el anuncio del Evangelio en el mundo actual*. https://www.vatican.va/content/francesco/es/apost_exhortations/documents/papa-francesco_esortazione-ap_20131124_evangelii-gaudium.html
- García Redondo, J. M. (2019). El proceso cartográfico de la reforma parroquial del arzobispo Lorenzana: propuestas planimétricas de José Antonio de Alzate y recreación ilustrada de la ciudad de México (1767-1772). *Historia mexicana*, 68(3), 1001-1074.
- Gómez, G. R., Flores, J. G. y Jiménez, E. G. (1996). *Metodología de la investigación cualitativa*. Iglesia Católica. (1983). *Codex Iuris Canonici*; Código de Derecho Canónico. https://www.vatican.va/archive/cod-iuriscanonici/cic_index_sp.html
- Iglesia Católica. (1997). *Catecismo de la Iglesia Católica*. http://www.vatican.va/archive/catechism_sp/index_sp.html
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020, principales resultados por AGEB y manzana urbana*. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/?ps=microdatos#Datos_abiertos
- Leduc, C. (2001). Géographie paroissiale en milieu urbain. L'exemple cambrésien à l'époque moderne. *Revue du Nord*, 116-3, 2001/2 340. <https://doi.org/10.3917/rdn.340.0359>
- Mata, M. (28 de septiembre de 2019,). Nombran a Chavolla Ramos primer arzobispo de Toluca. *Grupo Milenio*. <https://www.milenio.com/politica/comunidad/nombran-a-chavolla-ramos-primer-arzobispo-de-toluca>
- O'Mahony, E. (2014). Problems with drawing lines: Theogeographies of the Catholic parish in Ireland. *Journal of the Irish Society for the Academic Study of Religions*, 1(1), 48-65. <https://hdl.handle.net/10468/1869>
- Ramírez Velázquez, B. R. y López Levi L. (2015). *Espacio, paisaje, región, territorio y lugar: La diversidad en el pensamiento contemporáneo*. (Colección: Geografía para el siglo XXI, Serie: Textos Universitarios, núm. 17).
- Ramos, J. A. (1995). *Teología pastoral*. Biblioteca de Autores Cristianos.

- Revista de Educación Religiosa. (2023). *Guía de citas y referencias APA 7ª ed. para textos religiosos*. <https://revistas.uft.cl/index.php/rer/libraryFiles/downloadPublic/47>
- Rosendahl, Z. (2005). Território e territorialidade: uma perspectiva geográfica para o estudo da religião. *Encontro de Geógrafos da América Latina*, (10), 12928-12942.
- Santiró, E. S. (2004). El nuevo orden parroquial de la ciudad de México: población, etnia y territorio (1768-1777). *Estudios de Historia Novohispana*, (30), 63-92.

HACIA UNA ALTERNATIVA CONCEPTUAL-METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO URBANO-TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE CHILPANCINGO

*Gabriel Linares Ortiz**
*Nefthalí García Castro***

RESUMEN

La vulnerabilidad social se vislumbra como la posibilidad de exponerse a un riesgo, incertidumbre, indefensión, expectativas de futuro frágiles, falta de estrategias, inseguridad, precariedad, miedo, inestabilidad, falta de apoyo o relaciones sociales débiles, entre otros. Así, este capítulo realiza una revisión tanto de las implicaciones conceptuales como metodológicas para el análisis territorial basado en la vulnerabilidad social, las periferias interiores y la segregación socioespacial. De esta manera, esta investigación aporta un marco de referencia para entender cuáles son los principales factores que desencadenan la degradación de los espacios céntricos, así como la fragmentación física y desigualdad social ocurrida en la ciudad de Chilpancingo. También se describen las alternativas metodológicas viables para localizar y delimitar las periferias interiores y para la construcción de la cartografía social en torno a la vulnerabilidad social-segregación social en esta ciudad guerrerense.

Palabras clave: Vulnerabilidad social, Periferia interior, Segregación social, Cartografía social.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las ciudades experimentan transformaciones territoriales debido a diversos factores, como el crecimiento demográfico, la economía, lo sociocultural,

* Estudiante del Doctorado en Estudios Sociales y Territoriales-Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, Universidad Autónoma de Guerrero, gabriel.linares.ortiz@gmail.com

** Profesor-investigador del Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, Universidad Autónoma de Guerrero, nefthaligarcia@uagro.mx

el medio ambiente, entre otros. Cada vez con más frecuencia se producen fragmentaciones físicas y sociales en los entornos urbanos, mostrando escenarios degradados y obsoletos, tanto en las periferias como en los centros de las ciudades. Un ejemplo de esto es Chilpancingo, la segunda ciudad con más habitantes del estado de Guerrero (225 728 personas) (INEGI, 2020).

Chilpancingo es considerada una ciudad media; de acuerdo con Leyva (2011), una “ciudad media es aquella que influye directamente o encabeza el sistema urbano de su regionalización local y cuenta con una población de 100,000 a 1,000,000 habitantes” (p. 99). Desafortunadamente, en el estado de Guerrero, como en muchas otras entidades mexicanas, este tipo de asentamientos humanos han emergido sin algún plan de ordenamiento territorial, con las problemáticas socioterritoriales consecuentes.

En ese orden de ideas, esta investigación tuvo como finalidad revisar los conceptos fundamentales para el análisis urbano-territorial: vulnerabilidad social, periferias interiores y segregación socioespacial, así como explorar un par de alternativas metodológicas estrechamente relacionadas con estas categorías: la primera orientada a localizar y delimitar periferias interiores, y la segunda, la cartografía social como medio para la construcción de conocimiento horizontal de los actores locales de la ciudad de Chilpancingo.

PERIFERIA INTERIOR, VULNERABILIDAD SOCIAL Y SEGREGACIÓN SOCIOESPACIAL

En términos económicos, la globalización concentra la riqueza en pocas personas, incrementa la desigualdad y ocasiona diversos problemas para la producción social de lo local, ya que suele originarse la desestructuración del espacio urbano-territorial agravando problemas como la movilidad, encarecimiento de bienes raíces, estructuras en desuso u obsoletas, manifestaciones de ciudadanos inconformes, etcétera.

Para analizar la dinámica de los centros de las ciudades es necesario hacer una revisión de la literatura especializada que oriente la complejidad del estudio desde la perspectiva territorial. Santos (2000) considera al territorio como el espacio socialmente construido donde toda acción que ejerce el ser humano (en especial el poder) tiene un impacto considerable en la vida cotidiana de las personas. En ese

sentido, Rodríguez (1977) advierte que la organización territorial presenta desigualdad en su evolución, los centros se dotan de bienes y servicios para activar la economía presentando técnicas capitalistas; por el contrario, las periferias presentan rezago en términos tecnológicos y organizativos.

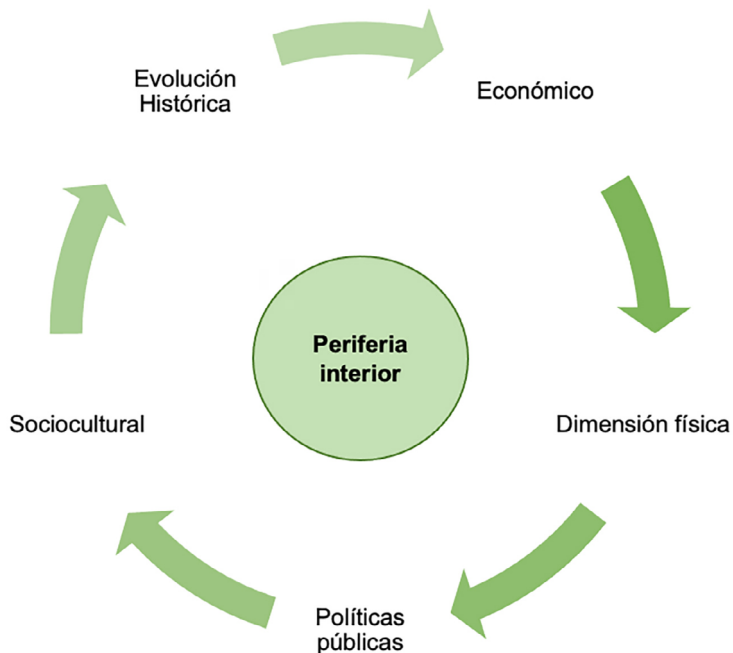
No obstante, con frecuencia, los centros no tienen una planificación sostenible, más bien con el transcurso del tiempo se vuelve obsoleta. Kapstein (2010) refiere a estos espacios como degradados ubicados en centros urbanos de las ciudades, paralizados en el tiempo, pues la trama urbana se expandió de manera desmedida. Además, hay que considerar que se pueden presentar múltiples centros y periferias en una misma escala territorial (Hernández y García, 2020). Burgess (1967) describe a la ciudad como “la estructuración del espacio urbano y el papel de las políticas urbanas” (p. 132), las cuales juegan un papel importante para el funcionamiento de la ciudad mediante su eficiente o nula aplicación en materia de reordenamiento territorial.

Kapstein (2010) explica los procesos mediante los cuales se forman las periferias interiores, con base en cinco aspectos: 1) lo económico, a causa de la desindustrialización (López, 2012), así como el surgimiento de nuevos centros industriales en la periferia, lejos de la ciudad, valorización de espacios urbanos frente a lo obsoleto y disminución de las actividades económicas. 2) La dimensión física, con el acrecentamiento de la movilidad urbana en la que se ven involucrados el transporte e infraestructura vial, servicios públicos, uso y división del territorio. 3) Las políticas urbanas, que tienen impacto en la descentralización política y administrativa, dan pauta para la gestión de presupuestos. Las políticas urbanas han tenido una desconexión entre los agentes, las ideas e instituciones que interactúan en el ciclo de políticas (López, 2012). 4) Lo sociocultural redundante en emigrar de las zonas centrales hacia la periferia, y las zonas centrales convertirlas en usos terciarios, y la permanencia de personas longevas, el desarraigo social lleva al poco uso de los espacios públicos, y 5) La evolución histórica de la ciudad: las ciudades crecen y pierden el peso significativo de su origen.

López (2012) considera que “la ciudad se organiza a partir del impulso de fuerzas competitivas, decisiones individuales de localización, gustos personales, intereses profesionales y económicos, antes que con base en la mano burocrática encargada de implementar la planeación racional” (p. 132). La correlación de elementos que se describen sucede en diferentes ciudades, lo que afecta, en un primer momento, el crecimiento demográfico, fragmenta el espacio y posiciona a grupos sociales con menor poder adquisitivo en la periferia. Para Rossi (1982), el plano urbano y los

monumentos son elementos primarios que definen la forma de la ciudad. Turner (1990) señala que para categorizar de manera social al entorno urbano debe analizarse y comprenderse las diferentes escalas socioterritoriales implícitas en ella, que en el caso de la periferia interior pueden sintetizarse en la Figura 1.

Figura 1. Aspectos relacionados con la periferia interior



Fuente: elaboración propia con base en Kapstein (2010).

La vulnerabilidad social se concibe como la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que padece una comunidad de ser afectada en caso de que fenómenos naturales o antropogénicos se presenten en su entorno (Cardona, 2003). Kapstein (2010) menciona que la vulnerabilidad en el ámbito social es originada por la desigualdad y la falta de oportunidades que limita a individuos a superar las adversidades. Para Hernández (2007), el término vulnerable se utiliza en el análisis

de la ciudad cuando el entorno urbano presenta alguna situación crítica que requiere tomar acciones para evitar la crisis, degradación funcional y social del lugar.

En América Latina, la aplicación de políticas neoliberales en las ciudades ha sido causa de degradación, desigualdad, pobreza, crisis, ya sea económica, política, social, ambiental, cultural, etc. Pradilla (2009) señala que ante una crisis la escapatoria a ésta es la modernización y estructuración del capitalismo que se ha desarrollado, explotando la fuerza de trabajo asalariada para compensar o revertir la tasa de ganancia. Sin embargo, esto produce en los trabajadores pauperización que origina desigualdad en términos económicos y sociales. Harvey (2000) apunta que el capitalismo se sostiene a partir de producir desigualdades, los favorecidos son las clases con poder económico o político que se manejan estratégicamente para beneficiarse de la circulación de capital; en cambio, los segregados no tienen opciones que les permitan obtener privilegio ni acceder a la información de los procesos para mejorar su situación.

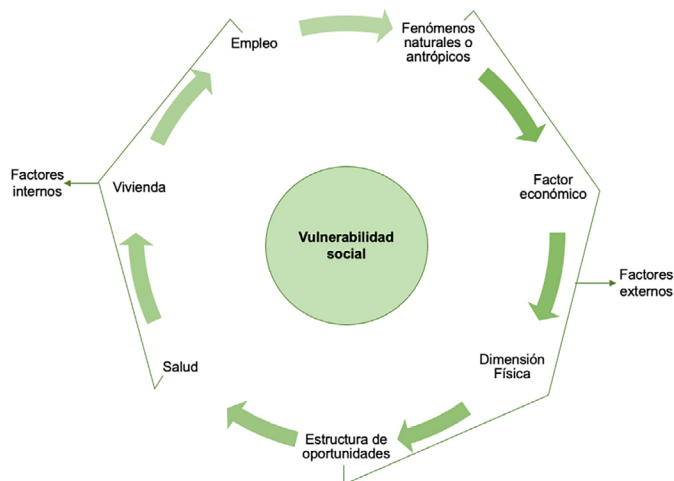
En las agendas internacionales, pobreza y desigualdad son temas de análisis para elaborar estrategias y reducir el impacto negativo derivado de políticas neoliberales. Sin embargo, diversos factores socioeconómicos influyen para que una persona o comunidad sea vulnerable, por ejemplo, el empleo, el ingreso económico justo, los servicios de salud eficientes, educación de calidad, canasta básica completa, vivienda digna, entre otros. Ante la falta de uno o más de estos factores, en especial lo económico, se limita la capacidad de tener una vida digna y habitar en lugares que no presenten riesgos o amenazas (antrópicas o naturales), lo que da lugar a una condición vulnerable.

En ese contexto, los desastres se construyen de manera social y los ciclos de la naturaleza exaltan las carencias económicas, políticas y culturales de la población haciéndolas visibles (Juárez, 2018). De esta manera, para Katzman (2000), la vulnerabilidad social es "...la incapacidad de una persona o de un hogar para aprovechar las oportunidades, disponibles en distintos ámbitos socioeconómicos, para mejorar su situación de bienestar o impedir su deterioro" (p. 13). En diversos casos donde se han manifestado ciertos eventos inesperados, como amenazas internas y externas, que representan peligro, la sociedad no está preparada para enfrentarlos, pues en la mayor parte de la población su estructura socioeconómica es débil y, en consecuencia, es menos resiliente. García (2005) refiere que para señalar que un grupo social es vulnerable se tienen que revisar los umbrales relacionados con su bienestar (estructura social, económica y territorial).

La estructura de oportunidades es resultado del Estado, el mercado y la comunidad; a la población más pobre, indigentes y marginales se les dificulta acceder a estos recursos debido a su estructura interna (salud, empleo, educación), por lo que son los más afectados dentro de los grupos sociales, teniendo un impacto negativo y de no recuperación de los procesos traumáticos en su entorno, lo que ocasiona exclusión. Filgueira (2001) reconoce y propone este fenómeno como “la idea de configuraciones vulnerables (susceptibles de movilidad social descendente, o poco proclives a mejorar su condición), las cuales pueden encontrarse en sectores pobres y no pobres” (p. 9).

La segmentación de grupos depende de su estructura social en la cual todos pueden ser vulnerables en mayor o menor grado, debido a diferentes factores; de esta manera, la vulnerabilidad social se considera multidimensional y multifactorial; por ejemplo, cuando los grupos sociales o individuos se enfrentan ante una amenaza su capacidad de respuesta es diferente, unos pueden ser más afectados que otros, como sucedió en la ciudad de Acapulco, donde el huracán Otis se manifestó como catalizador y relucieron las carencias socioeconómicas de la población; a pesar de ser un centro turístico la estratificación social es, en su mayoría, vulnerable por factores socioeconómicos y la violencia que impera. En la Figura 2 se señalan algunos factores que influyen en la vulnerabilidad social.

Figura 2. Factores que influyen en la condición de vulnerabilidad social



Fuente: elaboración propia con base en Juárez (2018).

Los centros de las ciudades manifiestan ciertas divisiones que fragmentan el espacio (Pérez, 2011); la segregación puede entenderse como estas diferencias socioeconómicas y políticas de los grupos de la ciudad. Estos contrastes entre la población producen desigualdad, en términos de poder, lo que es un factor primordial en la división social del espacio urbano, con la consecuente separación de los diferentes grupos que lo conforman (Madoré, 2004). En términos conceptuales, desigualdad y exclusión pueden parecer sinónimos en los estudios de la ciudad; sin embargo, la diferencia radica en que el primero hace referencia a la ausencia de igualdad y el segundo son acciones de unos para separar económica, social, política o culturalmente a otros (Pérez, 2011).

En el territorio se conjuga lo económico y lo político, ambos aspectos pueden concebirse como mecanismos de control: entre más control habrá una mayor capacidad de organizar el espacio, y viceversa, si se carece de poder menos opciones espaciales se tendrán y se notará la exclusión (Madanipour et al., 2003). En las ciudades, específicamente en los centros, se vislumbran estos poderes que habrían desarrollado prácticas de exclusión; la mayoría de las veces, en las clases medias y altas para protegerse de problemas que se generan en el entorno urbano: el incremento de la violencia, la falta de dotación de servicios básicos, generando panópticos como resguardo para separarse de espacios obsoletos, barrios populares, colonias y zonas de alto riesgo; estos resultados son porque hay desigualdades en términos de poder, lo que provoca la separación de los grupos (con mayor y menor poder adquisitivo) (Madoré, 2004).

La característica más notable de la segregación residencial es el vínculo en un determinado espacio donde se aglomeran familias de una misma condición social. Este grupo se cohesiona debido a las prácticas cotidianas similares con las que se identifican (Tocarruncho, 2020). La segregación por sí sola se distingue más en lo socioeconómico que por características como las mencionadas (Roca, 2012). En contraste, el término segregación socioespacial hace alusión a la distribución desigual de grupos humanos en el espacio con respecto a otros; y lo social, al hecho de que estos grupos no se integran socialmente entre sí (Tocarruncho, 2020).

La segregación socio-espacial es entendida como el proceso social donde una clase o cualquier otro grupo específico manifiesta la tendencia de vivir de manera próxima en un área de la ciudad en común, relacionada con aspectos económicos y de ocio, permitiendo

la creación de espacios comunes, aglomerados y homogéneos, que en ocasiones se convierten en zonas cerradas y dominadas por un grupo (Tocarruncho, 2020, p. 100).

Las interacciones entre grupos de la sociedad se distinguen más en lo socioeconómico; a mayor poder adquisitivo y su relación con lo político que tenga un cierto grupo o individuo tendrá la capacidad de habitar zonas como los centros de la ciudad, zonas exclusivas, comerciales; es decir, de alta plusvalía, donde se excluye a los que concentran menor poder económico, se exponen las desigualdades con las que se caracterizan determinados grupos vulnerables y se condiciona su forma de habitar en periferias mostrando su exclusión a zonas inestables.

Para Brun (1994), la segregación socioespacial es “la existencia de una diferenciación o distribución desigual de ciertos grupos sociales al interior del espacio urbano” (p. 22). En los grupos sociales se genera la desigualdad en relación con la distribución equitativa de recursos económicos, materiales y simbólicos, lo que impide el acceso al bienestar, ocasionando un desplazamiento a las áreas más desfavorecidas, como las periferias o asentamientos irregulares, condicionando a grupos o individuos en vulnerabilidad social. Pizarro (2009) interpreta el panorama complejo de América Latina con base en los efectos del neoliberalismo, siendo éste el patrón de desarrollo vigente que marca esta brecha de la desigualdad, lo que suele traducirse como obstáculos al crecimiento y desarrollo económico; esto ha dado lugar al fenómeno de cuello de botella: la riqueza se concentra en pocas personas y gran parte de la población queda estancada en la pobreza, con una limitada o nula capacidad de mejorar sus condiciones socioeconómicas.

Este fenómeno, en el entorno urbano, suele estar relacionado con políticas públicas derivado de una globalización en términos económicos, de un sistema capitalista que afecta a los más pobres condicionándolos a estar vulnerables en la ciudad y sus alrededores, conformando conglomerados de grupos homogéneos que se distinguen por su etnia, religión, condición socioeconómica y política, elementos propios de una segregación socioespacial (Sabatini et al., 2001). En el estado de Guerrero, en especial en la ciudad de Chilpancingo, es posible identificar zonas céntricas con presencia de grupos segregados, espacios con predominio de negocios informales, edificios en deterioro, convertidos en focos rojos, así como violencia originada por la falta de oportunidades; esto aumenta el grado de vulnerabilidad social de la población de todas las clases sociales.

ALGUNOS ESCENARIOS URBANO-TERRITORIALES EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE CHILPANCINGO

La capital del estado de Guerrero se ha destacado por presentar manifestaciones constantes en las calles principales del centro y en aquellas áreas con oficinas de gobierno, debido a la mínima o nula respuesta a las demandas de la ciudadanía, lo que ha ocasionado el cierre de calles como forma de protesta; esto impide la movilidad de automóviles y peatones, afecta la economía de los pequeños negocios y paraliza la ciudad, dando lugar a escenarios de degradación social. En la Figura 3 se observa un panorama que suele tenerse con mucha frecuencia en la ciudad.

Figura 3. Ciudad de Chilpancingo: manifestación en calles del Centro



Fotografía de los autores, tomada en campo (06 de octubre de 2023).

Un número importante de edificios en el centro de Chilpancingo muestran deterioro significativo (son obsoletos o tienen fisuras) (Figura 4). En este asentamiento humano de Guerrero la planeación urbana no ha estado presente: las calles son estrechas y de difícil acceso; en muchas de ellas, el tránsito es obstaculizado por los vendedores ambulantes, varios de éstos son protegidos por líderes del comercio. Pero es importante destacar que para la mayoría de la población de la ciudad el comercio informal es la única fuente de sustento económico para cubrir sus necesidades básicas (educación, salud, comida, vivienda). En la Figura 5 se observan los escenarios socioterritoriales comunes en las calles céntricas de Chilpancingo.

Figura 4. Ciudad de Chilpancingo: deterioro físico de edificios



Fotografía de los autores, tomada en campo (11 de octubre de 2023).

Figura 5. Ciudad de Chilpancingo: escenarios socioterritoriales



Fotografía de los autores, tomada en campo (12 de enero 2024).

En decenios recientes, en la zona céntrica de Chilpancingo varios edificios con uso habitacional se han transformado en zonas comerciales. La población que allí radicó ha tenido que desplazarse a otros lugares (con frecuencia fuera del primer cuadro

de la ciudad), ya que las rentas en esta parte de la ciudad suelen ser elevadas, lo que ha dificultado el acceso a la vivienda. En la Figura 6 se muestra esta metamorfosis habitacional-comercial. Al igual que en otras ciudades, en Chilpancingo las empresas privadas demandan espacios céntricos, orillando a las personas a posicionarse en otros lugares, como en la periferia o zonas inestables, lo que ha dado pauta para la segregación socioespacial en el centro de Chilpancingo.

Figura 6. Ciudad de Chilpancingo: cambio habitacional-comercial



Fotografía de los autores, tomada en campo (12 de enero 2024).

ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS PERIFERIAS INTERIORES Y LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE CHILPANCINGO

Las propuestas metodológicas son de gran importancia en el análisis urbano-territorial de la ciudad de Chilpancingo. Marengo y Falú (2004) señalan que:

Los límites del territorio urbano se configurarían a partir de las externalidades de las ciudades con su entorno, en un proceso caracterizado por su dinamismo y permanente transformación, lo cual requiere de marcos explicativos amplios en la intersección de distintas disciplinas que den cuenta de la complejidad, así como de instrumentos de

planificación territorial flexibles y dinámicos que permitan incorporar en una visión general las particularidades propias que caracterizan la creciente fragmentación del espacio urbano (p. 212).

Para localizar y delimitar las periferias interiores de los centros de las ciudades se debe comprender los límites establecidos por las acciones humanas, lo que requiere de argumentos para explicar fenómenos urbanos a fin de planificar y entender la fragmentación del espacio. En el caso de la ciudad de Chilpancingo se ha optado por realizar lo antes mencionado debido a que en el centro de asentamiento humano es notable el deterioro físico y las distintas problemáticas socioeconómicas, entre ellas: disparidades demográficas, pobreza, segregación y un mínimo desarrollo económico, social y ambiental.

Punch (2014) indica que las alternativas metodológicas son suposiciones sobre la naturaleza de la realidad que se estudia, esto lleva a que los métodos apropiados se construyan con base en el conocimiento de la realidad. El enfoque de Punch (2014) sugiere que lo cualitativo es una investigación empírica que tiene énfasis en las ciencias sociales donde la obtención de datos no son números, se refiere a pensar la realidad social, estudiar y construir un marco de referencia explicativo sobre las personas y su comportamiento. Con base en la literatura especializada y las características socioterritoriales de la ciudad de Chilpancingo, se propone:

- Observación no participante en el primer cuadro de la ciudad.
- Aplicación de un cuestionario para recabar aspectos socioterritoriales de acuerdo con el marco conceptual.
- Identificar informantes clave que describan el contexto histórico del primer cuadro de la ciudad.
- Una vez que se identifica y delimita la periferia interior, tendrá lugar la aplicación del mapeo colectivo.
- Con los resultados recabados en el mapeo colectivo se realizará el análisis de la vulnerabilidad social de la perspectiva de los actores participantes.

El análisis de las periferias interiores se realiza en dos momentos: primero se identifican y, a la postre, se comprueba su existencia y se delimitan, como se muestra en la Tabla 1.

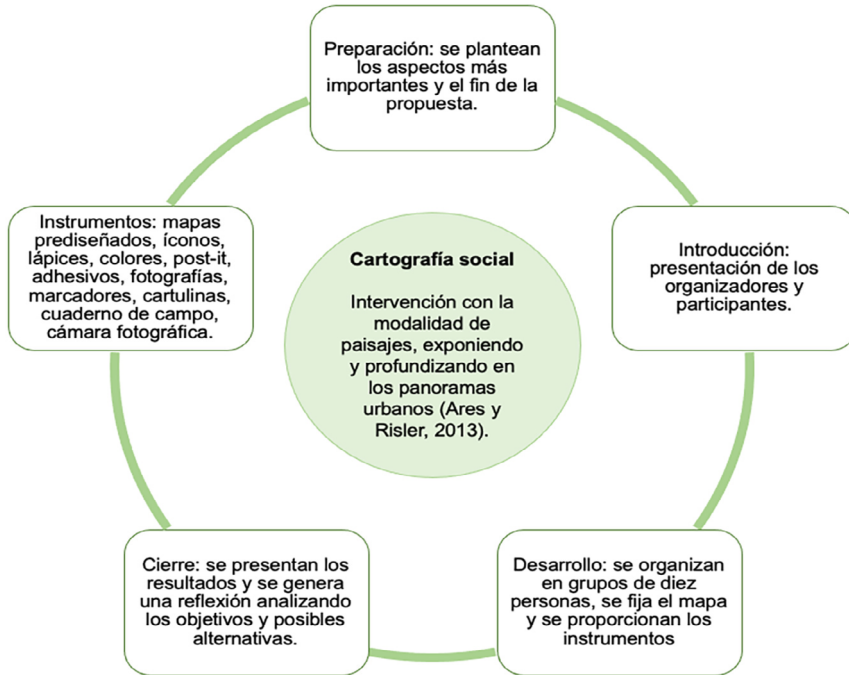
Tabla 1. Periferias interiores: fases para su análisis

<i>Identificación</i>	<i>Comprobación y delimitación</i>
<p>Estudiar el crecimiento demográfico, tomando en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planos o fotografías aéreas de tres momentos históricos. • Determinar la fecha de cada periferia interior. • Identificar límites internos de la ciudad. • Realizar una superposición en el plano actual de los límites internos y focos de degradación. 	<p>Deben observarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estructuras en desuso o focos de degradación. • Cambios bruscos en la topografía. • Cambios en la densidad y uso de las áreas colindantes. • Calles que estuviesen permitiendo un acceso y marcando un contorno o perímetro al barrio. • Falta total o parcial de equipamientos y servicios en la zona. • Precariedad de las viviendas. • Entrevista con algún urbanista experto en la ciudad.

Fuente: elaboración propia con base en Kapstein (2010).

Para la aplicación de la cartografía social se organizó a los grupos que conformaban los actores locales, ya sean líderes o presidentes de colonia, padre o madre de familia, personas longevas que han habitado la periferia interior reconocida en la ciudad de Chilpancingo. Estas personas participaron de manera libre y creativa para identificar los factores de vulnerabilidad social en este segmento de la ciudad. La opinión de los grupos o sujetos abordados favoreció el empoderamiento de los actores sociales, los cuales a la postre podrían colaborar en la aplicación de un proyecto relacionado con las problemáticas detectadas de manera horizontal (Linares y García, 2020). La cartografía social sirve para la planificación y gestión del territorio, ya que se basa en la investigación-acción participativa, la cual da pauta para la transmisión de los saberes de los actores locales hacia el investigador (zonas vulnerables, problemáticas y los mecanismos que podrían detonar la cohesión social).

Figura 7. Etapas consideradas en la construcción de la cartografía social



Fuente: elaboración propia con base en Ares y Risler (2014).

CONCLUSIONES

La población demanda bienes y servicios que convierten a la ciudad, y en particular al centro, en espacios para comercializar, vivir, establecer oficinas, empresas privadas, por lo que se expulsa a la población a otras zonas. La fragmentación del espacio genera ciertos problemas, como degradación de los lugares. Kapstein (2010) menciona que los centros de las ciudades se paralizan, la trama urbana crece de manera desmedida y éstos son olvidados.

Pareciera que los centros de las ciudades estuvieran dotados de tecnología, bienes y servicios para satisfacer la gran demanda de las personas; sin embargo, concentran problemas urbano-territoriales que lo degradan, hay desigualdad, pobreza, segregación

socioespacial y vulnerabilidad social. Las zonas céntricas se encarecen; por lo tanto, la población con menor poder adquisitivo no puede acceder a ellas; así, surgen zonas exclusivas, donde sólo entra el que tiene más poder adquisitivo, esto ha dado lugar a la segregación socioespacial. Chilpancingo es conocido como la ciudad de los servicios; es decir, una ciudad de paso. La vulnerabilidad social en la población se puede ver en diferentes niveles, siendo los pobres los más afectados; de este modo, las problemáticas socioterritoriales son cada vez más complejas (servicios de salud ineficientes, nivel educativo bajo, falta de empleo, viviendas precarias, manifestaciones ciudadanas e incremento de la violencia).

La política pública juega un papel importante, pero en estos casos no atiende las demandas de la población, no existe un plan de ordenamiento territorial que disminuya ciertos problemas urbanos como la movilidad, hay ausencia de estrategias para que las ciudades sean sostenibles.

Las propuestas metodológicas para el estudio de los centros de las ciudades no sólo deben ser de carácter cuantitativo, también debe haber aportes cualitativos, como la metodología para localizar y delimitar periferias interiores. Asimismo, la cartografía social tiene un aporte importante en ese sentido, pues la transferencia de conocimientos se deriva de los ciudadanos que experimentan estas transformaciones territoriales y ellos mismos tienen la posibilidad de identificar algunos mecanismos relacionados con la reducción de la vulnerabilidad social. Lo que se pretende, con los métodos propuestos en este trabajo, es contribuir a la política pública, mediante técnicas y herramientas que ayuden a focalizar el problema que enfrentan las personas afectadas, propiciando el conocimiento transversal en los planes de ordenamiento territorial y buscar alternativas para el manejo integral y sostenible del centro de Chilpancingo.

REFERENCIAS

- Ares, P. y Risler, J. (2013). *Manual de mapeo colectivo: recursos cartográficos críticos para procesos territoriales de creación colaborativa*. Tinta Limón.
- Burgess, E. (1967). The Growth of the City. In Burgess, E. W. & MacKenzie, R. D. (Eds.), *The City, by RE Park* (pp. 47-62). University of Chicago Press.
- Brun, J. (1994). Essai critique sur la notion de ségrégation et sur son usage engéographieurbaine. En Brun, J. y Rhein, C. (Eds.). *La Segregation dans la ville* (pp. 21-58). L'Harmattan.

- Cardona, O. (2003). *La necesidad de pensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo*. Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgo, Universidad de los Andes.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2020). *Medición de la Pobreza, Guerrero. 2016-2020, Indicadores de la pobreza por municipio*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2020.aspx
- Filgueira, C. (2001). *La actualidad de viejas temáticas: sobre los estudios de clases, estratificación y movilidad social en América Latina*. CEPAL.
- García, V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos*, (19), 11-24.
- García, N., Tello, P. y González, F. (2022). *Conflictos urbanos de Chilpancingo, guerrero: principales desafíos para la construcción de la resiliencia y la sostenibilidad*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Harvey, D. (2000). *Espacios de esperanza*. Akal. (Primera edición: Edinburgh University Press).
- Hernández, A. (2007). *Áreas vulnerables en el centro de Madrid*. Cuadernos de Investigación Urbanística. Instituto Juan de Herrera.
- Hernández, A., y García, N. (2020). *Diferencias territoriales en la economía del estado de Guerrero*, México. Universidad Autónoma de Guerrero.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020, Guerrero*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Juárez, F. (2018). La ocurrencia de desastres en México 2000-2016: un análisis desde la óptica de la vulnerabilidad. En *Análisis de la vulnerabilidad social desde un enfoque multidisciplinario*. Porrúa.
- Kapstein, P. (2010). Vulnerabilidad y periferia interior. *Ci[ur] Cuadernos de investigación urbanística*. (71). <http://www2.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/institucional/numeros-ciur/ciur-71/>
- Kaztman, R. (2000). *Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social*. Serie Documentos de Trabajo del IPES. Colección Aportes Conceptuales N° 2. Universidad Católica de Uruguay.
- Kaztman, R. (1999). *Activos y estructuras de oportunidades: estudios sobre las raíces de la vulnerabilidad social en Uruguay*. Academia.
- Leyva, J. (2011). *El sistema de ciudades medias y los centros de comercio en Chilpancingo, Guerrero (2000-2009)* (Doctoral dissertation).
- Linares, G. y García, N. (2020). La impronta de Ingrid y Manuel en la colonia Nicolás Bravo (Chilpancingo, Guerrero). Una aproximación desde la cartografía social. En Santana J.,

- M. V. et al. (Coords.). *Ordenación territorial: una revisión desde los objetivos de desarrollo sostenible*, Universidad Autónoma del Estado de Guerrero.
- Longás, J., Cussó, I., Dotras, P., Blanch, T. y Riera, J. (2023). La evaluación de la vulnerabilidad social en el contexto iberoamericano: una revisión bibliográfica. *Revista OBETS*, 18(2), 323-342.
- López, A. (2012). Políticas urbanas, bienes públicos y gestión del territorio. En Rosales, R., Reyes, M. E. y López, A. *Explorando territorios una visión desde las ciencias sociales*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa.
- Madanipour, A., Cars, G. y Allen, J. (2003). Social Exclusion and Space. En LeGates, R. & Stout F. (Eds.), *The City Reader*, Urban Reader Series.
- Madoré, F. (2004), *Ségrégation sociale et habitabilité*. Université de Rennes.
- Montero, J. (2017). *Impacto de la movilidad urbana en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Guerrero).
- Pérez, E. (2011). Segregación socioespacial urbana. Debates contemporáneos e implicaciones para las ciudades mexicanas. *Estudios demográficos y urbanos*, 26(2), 403-432.
- Pizarro, R. (2001). *La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina*. Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos Núm. 6. CEPAL.
- Pradilla, E. (2009). *Los territorios del Neoliberalismo en América Latina*. Universidad Autónoma Metropolitana/Miguel Angel Porrúa Editor.
- Punch, K. (2014). *Introduction to Social Research: Quantitative and Qualitative Approaches*. Londres-Thousand Oaks-New Delhi, SAGE Publications, Cap. 7. “Qualitative Research Design”, Cap. 10. “Quantitative Research Design”
- Roca, M. (2012). Segregación social: distribución y construcción espacial en Lima Metropolitana. *Revista Espacio y Desarrollo*, (24), 119-134.
- Rodríguez, O. (1977). Sobre la concepción del sistema Centro-Periferia. *Revista de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe*, 3(1), 203-247.
- Rossi, A. (1982). *La arquitectura de la ciudad*. Gustavo Gili.
- Sabatini, F., Cáceres, G., y Cerdá, J. (2001). Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: Tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción. *Revista eure*, 27(82), 21-42.
- Santos, M. (2000), *La naturaleza del espacio*. Ariel.
- Santana, K. (2019). *Estrategias para la accesibilidad al espacio público: Caso de estudio Iguala de la Independencia, Guerrero*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Guerrero).

- Tocarruncho, W. (2020). Aproximación conceptual de la segregación socio espacial y residencial en ciudades intermedias en América Latina. *Boletín Redipe*, 9(8), 96-115.
- Turner, J. (1990). *Redescubrir el grupo social*. Morata.
- Zúñiga, M., Cuevas, A., Sánchez, M. y Trujillo, G. (2016). Análisis de la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas en la Ciudad de Chilpancingo, Gro. *Foro de Estudios sobre Guerrero*, 2(3), 220-223.

ESTRUCTURACIÓN AUTOMATIZADA DE DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (1961-2017) DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL PARA EL ESTADO DE MÉXICO Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS PARA SU USO EN MODELOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

*Luis Ricardo Manzano Solís**

*Roberto Franco Plata**

*Miguel Angel Gómez Albores***

*Carlos Alberto Mastachi Loza***

RESUMEN

Los datos meteorológicos que ofrece el sitio de internet del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) son históricos. Sin embargo, el sistema de consulta no es tan flexible. Esta situación demanda dedicar tiempo a la estructuración de datos para usarlos en algún proyecto. También se ha detectado que los archivos contienen errores de datos o estructura. Finalmente, los datos de precipitación son medidos de forma puntual y se requiere convertirlos a su representación continua sobre el territorio. Esta investigación atiende los puntos anteriores. Primero desarrolla un algoritmo en Python para descarga y estructuración automatizada de datos de precipitación. Posteriormente, aplica un análisis exploratorio de datos con Python sobre la base de datos estructurada. Finalmente, interpola los datos con modelos de aprendizaje automático y evalúa su rendimiento. Entre los resultados, destaca un programa para descargar y estructurar datos de precipitación, una base de datos de precipitación mensual para el Estado de México y unas capas mensuales de SIG interpoladas con aprendizaje automático. Se concluye que es necesario evaluar la condición de los datos que ofrece el SMN y continuar explorando la utilidad del aprendizaje automático en la interpolación de elementos climáticos.

* Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.

** Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, lrmanzanos@uaemex.mx

Palabras clave: Aprendizaje automático, *Machine learning*, Análisis exploratorio de datos, Precipitación mensual, Automatización con Python.

INTRODUCCIÓN

La precipitación es toda aquella forma de humedad que cae desde la atmósfera directamente sobre el suelo en estado líquido o sólido, aunque la primera es la más significativa en las mediciones que se realizan de este elemento climático (Cuadrat y Pita, 1997). La precipitación es un impulsor del desarrollo de los territorios, al fomentar la disponibilidad de agua dulce en una región, ya que alimenta ríos, lagos, lagunas y mantos acuíferos; sin embargo, también es un componente importante para la ocurrencia de desastres en zonas pobladas (inundaciones, deslizamientos de tierra, avalanchas de nieve o pérdida de cultivos) (Tatsubori et al., 2022). Los datos de precipitación se emplean en diversos campos científicos, como climatología, ecología, hidrología, meteorología, ciencias ambientales y ciencias agrícolas (Burengengwa, 2020; Kartal & Sekertekin, 2022; Méndez & Calvo-Valverde, 2020; Millán, 2023).

Por lo tanto, es necesario contar con mejores estimaciones de precipitación para generar modelos óptimos del ciclo hidrológico, estudios de variabilidad y cambio climático, hidrología y recursos hídricos (Appelhans et al., 2015; Hatanaka, 2022; Millán, 2023; Nan et al., 2023; Pinthong et al., 2022; Tatsubori et al., 2022; Wang et al., 2021). De hecho, y de acuerdo con Pinthong et al. (2022), los datos de precipitación influyen directamente en la confiabilidad de los resultados de modelos hidrológicos y meteorológicos. Adicionalmente, la precipitación es un indicador importante para el estudio del cambio climático, mientras que las series de tiempo de este elemento climático son útiles para la planificación de cultivos y el análisis de crecidas e inundaciones (Millán, 2023; Xu et al., 2023).

Existe el reto de disponer de datos e información precisa de precipitación con alta resolución espacial y temporal, que exprese la distribución real de la precipitación en espacio y tiempo (Millán, 2023; Nan et al., 2023). Esta distribución espaciotemporal se puede representar en mapas, los cuales son importantes para comprender los procesos que ocurren en la Tierra y observar variables que no son visibles a primera vista (Kirkwood et al., 2022). Sin embargo, la precipitación está conectada con

otras variables ambientales (como temperatura, viento, topografía y humedad atmosférica) de una forma que no siempre es lineal y, como consecuencia, se trata de un proceso con alta variabilidad espaciotemporal, lo que hace que sea complicado su monitoreo, estimación y caracterización (Bellido-Jiménez et al., 2021), sobre todo cuando se requiere coleccionar en altas resoluciones espaciotemporales (Tatsubori et al., 2022)

Considerando lo anterior, es fundamental contar con productos confiables de precipitación para apoyar la toma de decisiones y fomentar la sostenibilidad desde los rubros atmosférico, ambiental y climático (Kartal & Sekertekin, 2022). Existen productos que proporcionan datos geoespaciales de precipitación como los de la Unidad de Investigación Climática (CRU, por sus siglas en inglés) (resolución de ~ 0.5 grados), TerraClimate (resolución de ~ 2.5 minutos), FLDAS (resolución de ~ 0.1 grados) o ERA5 (resolución de ~ 2.5 grados), así como productos de percepción remota, entre los que destacan TRMM (resolución de ~ 10 km) o PERSIANN (resolución de ~ 4 km) que proveen datos a nivel global con una relativa alta resolución temporal, pero con una resolución muy gruesa para estudios locales (Appelhans et al., 2015; Burengengwa, 2020; He et al., s/f; Millán, 2023; Wang et al., 2021; Xu et al., 2023).

Una alternativa a las fuentes anteriores es el uso de datos de estaciones meteorológicas, como los del Servicio Meteorológico Nacional para el caso de México. Sin embargo, las estaciones meteorológicas generalmente se ubican de forma dispersa y heterogénea sobre algún territorio, debido, principalmente, a la irregularidad del terreno (Burengengwa, 2020; Méndez & Calvo-Valverde, 2020; Nan et al., 2023; Xu et al., 2023), lo que constituye uno de los principales criterios para asegurar la accesibilidad a las mismas. Como resultado, se tiene una red de estaciones con mediciones generalmente precisas, pero con nula representación continua del elemento climático a estudiar (Appelhans et al., 2015; He et al., s/f). Por lo anterior, en ocasiones se recurre a modelos que permitan conocer el comportamiento de elementos como la precipitación, de manera tal que sea posible llenar espacialmente los huecos de datos por la falta de registros (Burengengwa, 2020; Kirkwood et al., 2022).

La interpolación de datos meteorológicos es una forma viable de producir datos geoespaciales de superficie continua a partir de información de observaciones de las estaciones meteorológicas (Peng et al., como se citó en He et al., s/f; Xu et

al., como se citó en He et al., s/f). El proceso de interpolación permite estimar valores desconocidos dentro del rango de valores existentes (Burengengwa, 2020). Específicamente, la interpolación espacial infiere valores en sitios dentro de una misma región que contiene puntos muestreados o con valores conocidos (Li & Heap, en Burengengwa, 2020), bajo el supuesto de que existe correlación espacial entre ellos (Chorti & Hristopulos, como se citó en Burengengwa, 2020). En el caso de una capa de Sistema de Información Geográfica (SIG), el resultado es una imagen o ráster de superficie continua.

En este sentido, se tienen cuatro categorías de interpolación (Appelhans et al., 2015; Burengengwa, 2020; Sijia et al., 2023): 1) predicción determinística (como IDW y modelo lineal generalizado o GLM, por sus siglas en inglés), 2) métodos geoestadísticos (como kriging), 3) método de combinación (como kriging regresión) y 4) aprendizaje automático. Wang et al. (2021) considera que los métodos determinísticos y geoestadísticos tradicionales generalmente se quedan cortos al tratar de integrar datos de distintas variables (como temporalidad, topografía y/o datos de fuentes complementarias) para generar las interpolaciones, mientras que el aprendizaje automático sí permite esta integración.

La interpolación espacial con aprendizaje automático es posible gracias al incremento del poder computacional generado en décadas recientes (Appelhans et al., 2015; Cho et al., 2020). De hecho, en años recientes ha crecido la aplicación del aprendizaje automático para interpolar datos geográficos (Méndez & Calvo-Valverde, 2020; Sekulić et al., 2020; Zhang et al., 2021). Lo anterior se debe, en parte, a que los modelos de aprendizaje automático representan relaciones entrada-salida sin necesidad de simular el proceso físico implícito en ellas, haciéndoles herramientas efectivas para modelar sistemas no lineales (Cho et al., 2020; He et al., s/f; Kirkwood et al., 2022; Sekulić et al., 2020; Yildirim et al., 2023). Además, este tipo modelos puede procesar el ruido y valores atípicos en los datos (Cho et al., 2020).

En términos generales, el aprendizaje automático es “dar a las computadoras la habilidad de aprender de los datos sin que el programador le proporcione ‘reglas’ explícitas” (Ozdemir et al., 2018, p. 15). Combina el poder de las computadoras con los algoritmos de aprendizaje inteligente, con la finalidad de descubrir relaciones en los datos y crear modelos robustos de datos. Es una herramienta más de la Ciencia de Datos.

Las consideraciones anteriores retoman relevancia cuando se habla de estudiar la precipitación en el Estado de México (ubicado en el centro de la República Mexicana), ya que es la entidad más poblada del país, con 16 992 418 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020). Tiene municipios altamente urbanizados, como aquellos vecinos a la Ciudad de México, Toluca y Santiago Tianguistenco, así como municipios rurales, donde se tiene una alta vocación agrícola de riego, pero, sobre todo, de temporal. Por lo tanto, en este estado es fundamental contar con datos sobre el comportamiento espaciotemporal de la precipitación, ya que éstos apoyan la toma de decisiones en los ámbitos urbano, rural, agrícola y ambiental. Adicional a lo anterior, es importante mencionar que a la fecha no existe un producto de capas interpoladas con aprendizaje automático a partir de observaciones históricas y con métricas que indiquen el nivel de certeza de las interpolaciones, por lo que esta investigación tuvo como objetivo estructurar de forma automatizada los datos mensuales de precipitación del SMN, con la finalidad facilitar el análisis exploratorio de datos (AED) y prepararlos para su uso en modelos de aprendizaje automático.

ANTECEDENTES

El aprendizaje automático ya ha sido previamente aplicado en el procesamiento de datos de elementos climáticos con fines de interpolación. Por ejemplo, existen estudios que interpolan tanto la temperatura del aire como la precipitación, como en el caso de Burengengwa (2020), quien comparó los métodos geoestadísticos kriging y *Gaussian filter* con los modelos de aprendizaje automático *Random Forest* (RF) y *multilayer perceptron* (MLP) para interpolar temperaturas del aire mínima y máxima, así como precipitación de cuatro fechas específicas para la provincia de KwaZulu-Natal, en Sudáfrica. La resolución que manejó fue de 1 km. Las variables independientes fueron distintas entre cada modelo. En el caso de los modelos de aprendizaje automático incluyeron: pendiente, orientación de laderas, distancia a la costa, elevación, latitud y longitud. Aunque los cuatro modelos dieron resultados similares, RF tuvo valores *Root-mean-square error* (RMSE) y *Mean-absolute error* (MAE) más bajos, tanto para las temperaturas como para la precipitación.

Otra investigación que interpola capas ráster de precipitación y temperatura del aire (mínima y máxima) diaria es la de Sekulić et al. (2020), quienes usaron RF para proponer lo que denominan *Random Forest Spatial Interpolation* (RFSI). La parte espacial de su modelo se basa en considerar sólo las observaciones de los puntos cercanos con respecto al punto que se desea estimar e incluir la distancia entre dichos puntos. En el caso de la precipitación, la variable dependiente fueron datos de precipitación diaria entre 2016 y 2018, obtenidos de estaciones meteorológicas en Cataluña, España. Las variables independientes fueron precipitación obtenida por percepción remota, temperatura máxima y temperatura mínima. En la temperatura, la variable dependiente fueron datos de temperatura máxima y mínima del 2008 obtenidas de Croacia, mientras que las variables independientes fueron latitud, longitud, distancia a la costa, elevación, fluctuación estacional, radiación solar y temperatura de la superficie del suelo del sensor MODIS. Su modelo RFSI tuvo mejores resultados que los métodos de interpolación determinísticos y son igual de buenos o mejores que los métodos geoestadísticos.

De forma específica a la interpolación de datos de precipitación, se tienen casos como el de Wang et al. (2021), quienes por medio de un modelo MLP interpolaron espacialmente datos horarios y diarios de precipitación del periodo 1986 a 2013 en Texas, Estados Unidos. Para ello, emplearon los datos de la estación meteorológica como variable dependiente, mientras que como variables independientes consideraron latitud, longitud, elevación, día del año, hora del día, datos de radar y reflectividad del radar. Los resultados presentaron buen rendimiento respecto a los datos de radar y de las estaciones.

Por su parte, Millán (2023) usó el modelo de aprendizaje automático RF para interpolar datos de precipitación diaria y generar capas ráster de la vertiente del Pacífico en Perú (periodo 2014-2020 y resolución de 5 km). Su variable dependiente fueron datos diarios de estaciones pluviométricas en la zona de estudio, mientras que las variables independientes fueron la altitud, pendiente del terreno, orientación de laderas, latitud, longitud y capas ráster preexistentes de precipitación de resolución gruesa (~10 km). Los productos generados tienen una mejor representatividad espacial de la precipitación respecto a productos ya existentes.

Por último, y con la propuesta de un algoritmo para la interpolación espacial, Sijia et al. (2023) usaron variaciones del modelo de aprendizaje automático RF para crear lo que denominaron *Random Forest Spatial Interpolation-Modified*

Upsampling (RFSI-MUS) y usarlo en el suroeste de China con datos de precipitación de 11 estaciones meteorológicas de enero de 2018 (como variable dependiente) y las variables independientes: elevación, humedad, temperatura de superficie del suelo, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) y capas raster de precipitación generadas a partir de percepción remota. Entre las variaciones de RF que manejaron, el modelo RFI-MUS tuvo el mejor rendimiento.

MARCO TEÓRICO

La precipitación

La precipitación es un mecanismo de movimiento del agua a través del ciclo hidrológico, que es un modelo conceptual básico, pero fundamental para comprender la dinámica general del agua entre la superficie de la Tierra y su atmósfera. En el caso de la precipitación, el agua regresa a la superficie terrestre desde la atmósfera, donde se acumuló después de ascender mediante la evapotranspiración de cuerpos de agua (sitios en los que se distribuyó de forma superficial, subsuperficial y profunda), vegetación y océanos (a los que llega por escurrimiento una cantidad considerable de agua superficial y subsuperficial). De acuerdo con Cuadrat y Pita (1997), la precipitación es la principal fuente de agua dulce del planeta.

La precipitación no ocurre de manera uniforme sobre espacio o tiempo y, más bien, puede variar de un momento a otro (de una hora a otra, un día a otro, de un mes a otro e, inclusive, de un año a otro) y de una zona a otra. La precipitación puede ser ciclónica o frontal, convergente, convectiva u orográfica (Cuadrat y Pita, 1997). Estos tipos de precipitación ocurren por la combinación de procesos planetarios (como los movimientos de masas de aire cargadas de humedad) y locales (como ascensos de aire húmedo por calentamiento del suelo o barreras orográficas), los cuales propician las condiciones necesarias para que el agua de la atmósfera precipite. Cualquiera que sea el proceso, la radiación solar que recibe el planeta es el principal motor que desencadena la dinámica de movimiento del agua en el mismo. Esta radiación recibida en una zona específica del planeta depende de la época del año (ya que varía la distancia Tierra-Sol), la latitud en la que se localiza

(que resulta en un ángulo de incidencia de la Tierra respecto al Sol) y la orografía que le circunda (que influye en la exposición).

Debido a lo anteriormente expuesto, cuando se desea estimar la precipitación, es necesario considerar aspectos como la localización de la zona (latitud, longitud y elevación) y la fecha en que ésta ocurre (época del año). De los distintos métodos para interpolar datos de precipitación, algunos consideran estos aspectos, pero otros no. A continuación, se habla de esta situación.

Interpolación

Burengengwa (2020) proporciona un marco para caracterizar los procesos de interpolación que generalmente se usan cuando se desean estimar valores desconocidos en el dominio de valores conocidos de la misma variable; es decir, cuando se requiere interpolar datos. A continuación se detalla este marco de trabajo (Burengengwa, 2020).

En primer lugar, cuando se ocupa la totalidad de datos de los que se dispone para generar el dato interpolado se habla de una interpolación global, mientras que cuando sólo se emplea un subconjunto de éstos, generalmente los más cercanos a la zona de interés, entonces se habla de una interpolación local. Por otro lado, en los casos en que el valor interpolado coincide con la lectura real, se hace referencia a un interpolador exacto, pero cuando dicho valor sólo se aproxima al real (subestimándolo o sobreestimándolo), lo que se hizo fue una interpolación aproximada.

También se puede diferenciar una interpolación en estocástica y determinística. En el primer caso, el valor interpolado se acompaña de una estimación del error asociado. En el segundo, no se cuenta con estimación alguna del error en el valor predicho. Desde el punto de vista del tipo de superficie que generan, las interpolaciones pueden ser abruptas o graduales. Los métodos de interpolación que crean resultados abruptos se expresan en una superficie discreta, mientras que aquellos que ocasionan resultados graduales producen imágenes suavizadas (con valores continuos).

En el caso del número de variables consideradas para realizar la interpolación, cuando sólo se ocupa una variable, se habla de métodos univariados, mientras que al emplear dos o más variables ya se consideran multivariados. La interpolación también puede ser convexa y no convexa. En la primera, el valor estimado se

encuentra entre los valores mínimo y máximo del conjunto de datos de entrada, a diferencia de la interpolación no convexa, donde el dato estimado sale de este rango de valores. Finalmente, la interpolación se considera lineal cuando no toma en cuenta la distribución normal de los datos de entrada y, en sentido opuesto, no lineal cuando los valores se estiman a partir de una distribución normal de los datos de entrada.

Por lo tanto, y con base en Burengengwa (2020), en la presente investigación se considera que el tipo de interpolación realizado con aprendizaje automático es global, aproximada, estocástica, gradual, multivariada, convexa y lineal. A continuación, se exponen generalidades del aprendizaje automático que le inferen la caracterización señalada.

Aprendizaje automático

De acuerdo con Ozdemir et al. (2018, p. 4), la ciencia de datos “es el arte y ciencia de adquirir conocimiento a través de los datos”. Es fundamental que este conocimiento que se logre sea de utilidad para la toma de decisiones. Estos autores proponen cinco pasos para implementar un proceso de ciencia de datos:

1. Realizar una pregunta interesante, originada de una necesidad, ¿cómo crear información para una decisión que se requiere tomar? Esta pregunta delimita el proceso y da el enfoque para los demás pasos.
2. Obtener los datos. Se buscarán, recopilarán y estructurarán los datos con la guía de la pregunta inicial; es decir, aquellos que ayuden a buscar la respuesta deseada.
3. Explorar los datos. Generalmente se realiza mediante el AED, y ayuda a caracterizar mejor los datos que se están empleando (limitaciones, errores, sesgos, entre otros), transformarlos y estructurarlos para el propósito deseado, así como a generar nuevas preguntas y aspectos a considerar al momento de crear los resultados.
4. Modelar los datos. Básicamente se refiere al uso de modelos estadísticos y de aprendizaje automático. Se realiza el ajuste y selección del modelo, al mismo tiempo que se mide su rendimiento y efectividad.

5. Comunicar y visualizar los resultados. Se ocupa de generar y transmitir los resultados como salidas en formatos digeribles o entendibles por el público objetivo.

En esta investigación se aplicaron los cinco pasos descritos, aunque se hizo de forma implícita en el procedimiento general que se presenta en la sección de Material y Método de este documento. Adicionalmente, y de acuerdo con el objetivo general de la investigación, la modelación de los datos se realizó mediante aprendizaje automático.

La principal característica del aprendizaje automático es que sus modelos tienen la capacidad de aprender de los datos proporcionados sin la ayuda explícita de los humanos (Ozdemir et al., 2018). Este aprendizaje puede ser supervisado, no supervisado o por reforzamiento. En el primero se le dan al modelo ejemplos de entradas de datos y de resultados esperados para que así éste aprenda los patrones a seguir. En el segundo no se le proporcionan al modelo ejemplos de resultados esperados, de tal forma que el mismo modelo descubre los patrones que debe seguir. En el último, se evalúan los resultados que arroja el modelo y se le retroalimenta con acciones que incentivan a que busque mejores resultados. En esta investigación se ocupa el aprendizaje supervisado, el cual puede ser con propósitos de regresión o clasificación, pero el que se desarrolló fue el primero (regresión), ya que se buscó inferir valores continuos de precipitación.

En términos generales, la modelación con aprendizaje automático requiere los siguientes pasos:

1. Estructurar una base de datos con las variables dependientes (aquellas que se desea inferir, con datos conocidos) y las variables independientes (aquellas que ayudan a inferir la variable dependiente).
2. Dividir el conjunto de datos en dos subconjuntos, uno para el entrenamiento del modelo y el otro para su validación.
3. Ensayar el modelo con los datos de entrenamiento y ajustarlo hasta lograr las mejores métricas que aseguren resultados aceptables.
4. Una vez entrenado el modelo, validarlo usando los datos de validación. En este caso se deben lograr métricas que aseguren que el modelo tenga buen rendimiento tanto con los datos de entrenamiento como con los de validación.

5. Una vez validado el modelo, usarlo para predecir las variables dependientes mediante la entrada de variables independientes asociadas.

Como se vio en los antecedentes, en el caso de tratar de estimar la precipitación, ésta es la variable dependiente, mientras que las variables independientes pueden ser elevación, latitud, longitud, fechas, orientación de laderas, pendientes, entre otras que el analista considere pertinentes.

MATERIAL Y MÉTODO

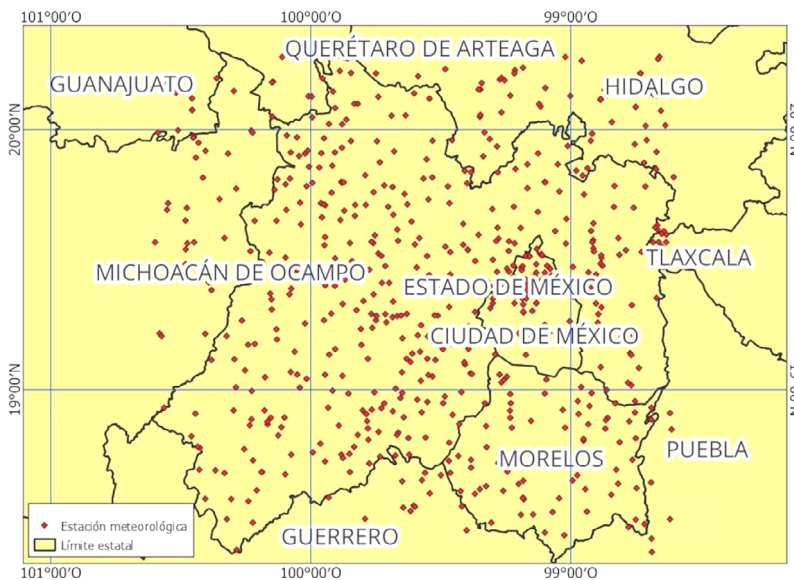
Zona de estudio

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron las estaciones meteorológicas del SMN de México que estaban dentro y en las cercanías del Estado de México (Figura 1). Dicho entidad se localiza en el centro de la República Mexicana, entre las coordenadas extremas de longitud 98°35'48.7" O y 100°36'47.4" O, así como entre las coordenadas extremas de latitud 18°22'1.0" N y 20°17'9.1" N.

Procedimiento

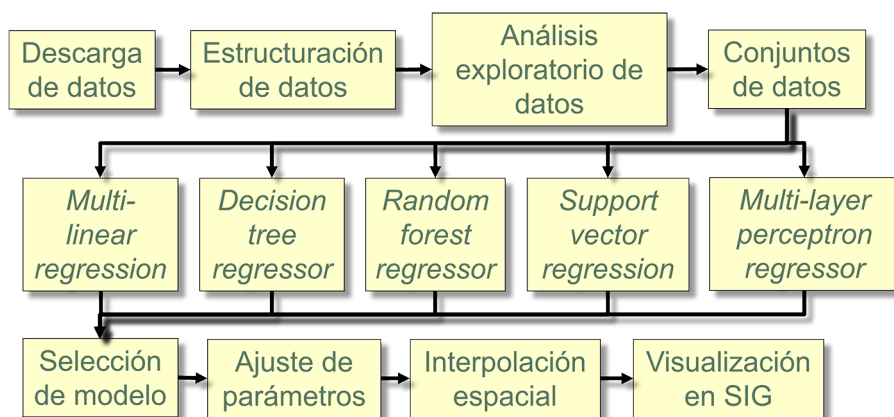
El desarrollo de la investigación se realizó siguiendo el procedimiento mostrado en la Figura 2. El primer paso fue la descarga de los datos del sitio de internet del SMN. Sin embargo, en este sitio web sólo se pueden descargar los datos de una estación por consulta (en un archivo de texto), lo que implica que un usuario debe dar "click" por cada estación de la que desea obtener los datos. Para agilizar la descarga de datos de las 622 estaciones de la zona de estudio (Figura 1), se elaboró una aplicación en Python para que, con una sola acción, se descargaran todos los archivos requeridos.

Figura 1. Zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Procedimiento



Fuente: elaboración propia.

Para esta investigación se tomaron en cuenta estaciones convencionales que están operando y suspendidas. Al tratarse de un estudio longitudinal, se consideró relevante contar con los datos históricos de las estaciones suspendidas.

Una vez descargados todos los archivos necesarios, se procedió a la estructuración de los datos diarios contenidos para cada estación meteorológica. Los archivos originales están en formato de texto (.txt), con la particularidad de que contienen tanto los metadatos de la estación como los datos de precipitación (además de los datos de otros elementos climáticos, como la temperatura mínima y máxima). Por lo tanto, se desarrolló una segunda aplicación en Python (con el apoyo de la librería Pandas) para automatizar la estructuración de los 622 archivos de texto, colocando los metadatos en un archivo de valores separados por comas (.csv) y los datos diarios de precipitación en otro archivo .csv. Posteriormente, la misma aplicación integró los 622 archivos individuales en un solo archivo .csv, pasando los valores diarios a valores mensuales. En este caso, se aplicó el criterio de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la cual indica que para considerar un mes como válido para un estudio, éste deberá contar con al menos 80% de los datos del mes; de lo contrario, se descarta ese mes (OMM, 2009). Entonces, éste fue un primer filtro que se aplicó para asegurar suficiencia de datos y la representación de la precipitación en cada mes de cada estación.

Para la modelación con aprendizaje automático se consideró al valor de precipitación como la variable dependiente, mientras que las variables independientes fueron el mes y año del evento registrado, así como elevación de la estación, su latitud y longitud. Entonces, la estructura del conjunto de datos contó con esas seis columnas de datos (una variable independiente y cinco variables dependientes). Estas variables se seleccionaron porque se tomó en cuenta la experiencia de He et al. (s/f), quienes sólo usaron las variables elevación, latitud y longitud porque facilitan el uso y generalización del modelo de aprendizaje automático. Además, según estos mismos autores, estas variables ayudan a obtener mejores resultados en el caso de zonas con estaciones con distribución dispersa e irregular.

El resultado del paso anterior arrojó un conjunto de datos estructurado según las necesidades para un proyecto de aprendizaje automático (conjunto de datos 1 en la Tabla 1). Se puede decir que este conjunto de datos estaba en bruto; es decir, sin ninguna validación como que correspondiera a un periodo específico, que descartara atípicos o que aplicara el criterio de la OMM respecto a la suficiencia de datos

mensuales y anuales. Debido a lo anterior, y con la finalidad de asegurar la calidad de los datos que entrarían al modelo de aprendizaje automático y, en consecuencia, también asegurar la calidad de los resultados de la modelación, se realizó un análisis exploratorio de datos (AED).

Como primera etapa de AED, con Python y sus librerías Pandas y Matplotlib ejecutándose en el entorno Jupyter, se analizaron las temporalidades de cada estación y se buscó un periodo homogéneo entre todas las estaciones, es decir que la cobertura temporal fuera más o menos del mismo tiempo entre el conjunto de estaciones (ya que algunas, las menos, tenían datos desde 1870; mientras que otras, también pocas, apenas a partir de 2010). Esos extremos se descartaron y se llegó a la conclusión de que la mayoría de las estaciones contaba con datos entre 1961 y 2017. El resultado fue el conjunto de datos número 2 de la Tabla 1, donde se aplicó el filtro de periodo.

En la segunda etapa de AED, se detectaron los valores atípicos de precipitación mensual en el segundo conjunto de datos, con la finalidad de descartarlos. En este caso, y al tratarse de datos de precipitación, se siguió la recomendación de Minga (2018) para considerar como datos atípicos aquellos que estaban por arriba de tres veces el rango intercuartílico. En este caso, también se trabajó con Python y sus librerías de Pandas y Matplotlib sobre Jupyter. El resultado fue el conjunto de datos número tres de la Tabla 1.

Tabla 1. Conjuntos de datos mensuales de precipitación

<i>Conjunto de datos</i>	<i>Filtros aplicados</i>				<i>Registros</i>	<i>%</i>
	Periodo	Atípicos	Meses	Años		
1	No	No	No	No	225 476	100
2	Sí	No	No	No	207 933	92.2
3	Sí	Sí	No	No	207 306	91.9
4	Sí	Sí	Sí	No	192 205	82.2
5	Sí	Sí	Sí	Sí	53 369	23.7

Fuente: elaboración propia.

Para la tercera y cuarta etapa de AED, se aplicó nuevamente el criterio de la OMM (2009) respecto a que, para considerar un año, éste debería contar con al menos 80% de meses de año (resultando en el conjunto de datos número 4 de la Tabla 1) y que, para considerar una estación, ésta debería contar con al menos 80% de años dentro del periodo 1961-2017. Lo anterior se basa en el criterio de Ding et al. (2023), quienes recomiendan no incluir estaciones con menos de 80% del total de datos para el periodo de estudio. Para esta parte del proyecto se elaboró una aplicación en Python usando la librería de Pandas. El resultado del último filtro fue el conjunto de datos número 5 (Tabla 1).

Como se aprecia en la tabla 1, el conjunto de datos número 2 contenía 92.2% de los datos originales (primer conjunto de datos), el 3 tenía 91.9% de ellos y el número 4, 82.2% respecto al primer conjunto; pero el conjunto de datos número 5 sólo mantuvo 23.7% de los datos originales. Si bien en el último conjunto de datos disminuyó demasiado el número de datos disponibles para la modelación con aprendizaje automático, éste se consideró el de mejor calidad para dicho propósito, ya que es fundamental aplicar procedimientos que aseguren la calidad de los datos de elementos climáticos antes de iniciar cualquier proceso de modelación, porque esto asegura que los modelos proporcionen resultados aceptables (Bellido-Jiménez et al., 2021).

Una vez finalizada las etapas de AED y seleccionado el conjunto de datos a emplear, el siguiente paso (Figura 2) fue el desarrollo de varios modelos de aprendizaje automático para la interpolación de los datos de precipitación, con la finalidad de evaluar su rendimiento y elegir el más adecuado para el propósito de esta investigación. Los modelos seleccionados fueron *Multi-linear regression*, *Decision tree regressor*, *Random forest regressor*, *Support vector regression* y *Multi-layer perceptron regressor*. Estos modelos se implementaron en Python mediante la librería Scikit-learn. Se evaluaron varios modelos porque según Burengengwa (2020) ningún método de interpolación puede ser generalizado a que sea el óptimo a todos los casos y en todas las disciplinas, ya que existen diversos supuestos que hay que considerar.

Para la implementación de los modelos, el conjunto de datos se dividió en un subconjunto de datos de entrenamiento y un subconjunto de datos de validación. No existe un criterio fijo para dividir el conjunto de datos original en datos de entrenamiento y validación. Por ejemplo, Burengengwa (2020) y He et al. (s/f) proponen que 70% de datos se use para el entrenamiento y 30% para la validación.

Millán (2023) propone una relación de 75 y 25% para datos de entrenamiento y validación, respectivamente. Finalmente, Méndez & Calvo-Valverde (2020) proponen que se use 80% de datos para el entrenamiento y 20% para la validación. En esta investigación se empleó el criterio de Méndez & Calvo-Valverde (2020).

Es importante tener en cuenta que el resultado de una interpolación no puede estar libre de error, pero se busca que éste sea el mínimo posible (Burengengwa, 2020) y que sea conocido para ponderar la utilidad del resultado. El origen del error puede estar en los propios datos, su preprocesamiento o los métodos empleados para la interpolación. Con base en la literatura analizada respecto a la temática que aquí se aborda, en la presente investigación se usaron las siguientes métricas para evaluar el error y la precisión de los modelos empleados:

- *Mean-absolute error* o MAE (Burengengwa, 2020; He et al., s/f; Kartal & Sekertekin, 2022; Méndez & Calvo-Valverde, 2020; Nan et al., 2023; Naranjo & González, s/f; Sekulić et al., 2020; Sijia et al., 2023; Wang et al., 2021, 2021; Xu et al., 2023; Yildirim et al., 2023).
- *Root-mean-square error* o RMSE (Bellido-Jiménez et al., 2021; Burengengwa, 2020; Cho et al., 2020; Ding et al., 2023; He et al., s/f; Jose et al., 2022; Kartal & Sekertekin, 2022; Méndez & Calvo-Valverde, 2020; Nan et al., 2023; Naranjo & González, s/f; Sekulić et al., 2020; Sijia et al., 2023; Wang et al., 2021; Xu et al., 2023; Yildirim et al., 2023; Zhang et al., 2021).
- Coeficiente de determinación o R^2 (Bellido-Jiménez et al., 2021; Burengengwa, 2020; Ding et al., 2023; He et al., s/f; Jose et al., 2022; Sekulić et al., 2020; Sijia et al., 2023; Xu et al., 2023; Yildirim et al., 2023).

En la Tabla 2 se aprecia el resultado de R^2 para los datos de entrenamiento y validación, así como los valores de MAE y RMSE para los datos de validación. Las métricas mostradas en la Tabla 2 permitieron desarrollar el paso que corresponde a seleccionar el modelo que mejor se ajustó a los datos de precipitación mensual para el Estado de México. El modelo con más bajo rendimiento fue el de *Multi-linear regression*, ya que presentó el valor de R^2 más bajo (en entrenamiento y validación) y un error (MAE y RMSE) alto. En el lado opuesto se encontró el modelo Random forest regressor, que tuvo el R^2 más alto, tanto para entrenamiento como para validación, y el error más bajo (MAE y RSME) para la validación.

Un aspecto para resaltar es el hecho de que exista una diferencia mayor entre el R^2 de entrenamiento y el R^2 de validación para el modelo *Random forest regressor* (en contraste, por ejemplo, con los modelos *Decision tree regressor* y *Multi-layer perceptron regressor*, cuyos valores de R^2 para entrenamiento y validación son más cercanos). Esta situación puede hacer suponer que el modelo está sobreajustado; es decir, que aprendió muy bien los datos de entrenamiento, pero que el modelo baja su rendimiento cuando se encuentra con datos nuevos o que no conoce (como en el caso de la validación). Sin embargo, en esta investigación se optó por seleccionar el modelo de *Random forest regressor* para realizar las interpolaciones de precipitación, puesto que su R^2 para la validación estuvo por encima del resto de los modelos y porque expresó el menor error posible entre los modelos analizados.

Tabla 2. Métricas de evaluación de los modelos de aprendizaje automático para interpolar datos de precipitación mensual del Estado de México, periodo 1961-2017 (con el conjunto de datos número 5)

<i>Modelo</i>	R^2 <i>entrenamiento</i>	R^2 <i>validación</i>	<i>MAE (mm)</i> <i>validación</i>	<i>RMSE (mm)</i> <i>validación</i>
Multi-linear regression	0.055	0.053	60.644	77.307
Decision tree regressor	0.799	0.726	25.190	41.553
Random forest regressor	0.968	0.791	21.604	36.308
Support vector regression	0.583	0.575	33.917	2 681.865
Multi-layer perceptron regressor	0.775	0.714	27.338	42.464

Fuente: elaboración propia.

Una vez seleccionado el modelo a emplear para la interpolación, el siguiente paso fue ajustar los hiperparámetros del modelo, con la finalidad de tratar de mejorar las métricas de rendimiento de éste. Cuando se tuvieron los mejores hiperparámetros, se procedió a realizar, a manera de implementación del modelo, la interpolación de los

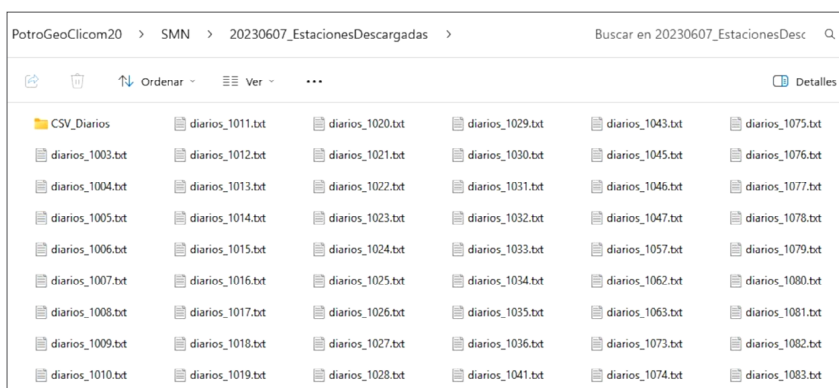
datos. Las variables independientes fueron los 12 meses del año a interpolar, el dato del año a interpolar, la elevación del terreno (obtenida de un modelo numérico de altitud (MNA) con resolución de ~ 30 m), así como la latitud y longitud de cada celda del MNA.

Es importante señalar que los datos interpolados de precipitación son tratados por Scikit-Learn como datos tabulares, por lo que el último paso del procedimiento fue convertir estos datos tabulares a imágenes ráster para visualizarlas en un SIG (en este caso en QGIS). Para ello se desarrolló una aplicación en Python que permitiera hacer la conversión de forma automática, de tal manera que simplemente se generara una imagen .tif por cada mes interpolado, la cual se cargaría directamente en el SIG. Para esta última aplicación se usaron las librerías Pandas y GDAL para Python.

RESULTADOS

En la figura 3 se expone un ejemplo de todos los archivos descargados de forma automatizada del sitio de internet del SMN para las 622 estaciones dentro y cercanas al Estado de México (1). Estos archivos vienen en formato .txt e incluyen los metadatos de la estación (como su clave, nombre, estado del país y municipio en que se ubica, coordenadas geográficas y elevación) y los datos de los elementos climáticos (los datos diarios de precipitación, evaporación, temperatura máxima y temperatura mínima) (Figura 4).

Figura 3. Muestra de los archivos descargados del SMN



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Ejemplo del contenido de un archivo descargado del SNM (estructura original de los datos)

```

[NA-SMN-CG-GMC-SMAA-CLIMATOLOGIA
BASE DE DATOS CLIMATOLOGICA
DATOS DISPONIBLES EN LA BASE DE DATOS A MARZO 2020;CON LA INFORMACION SUMINISTRADA POR LAS OFICINAS REGIONALES

ESTACION : 15367
NOMBRE : OBSERVATORIO UAEM
ESTADO : MEXICO
MUNICIPIO : TOLUCA
SITUACION : OPERANDO
ORGANISMO : CONAGUA
CVE-OMM : Nulo
LATITUD : 019.285°
LONGITUD : -099.653°
ALTITUD : 2,668 msnm

EMISION : 06/04/2020

PRECIP  EVAP  TMAX  TMIN
(FECHA) (MM)   (MM)   (°C)  (°C)
01/01/1946 0     Nulo  15.7  4
02/01/1946 0     Nulo  15.2  2.2
03/01/1946 0     Nulo  17.2  3.3
04/01/1946 0     Nulo  18.5  3.7
05/01/1946 0     Nulo  18.2  4.2
06/01/1946 0     Nulo  13.7  4
07/01/1946 0     Nulo  16    2.5
08/01/1946 0     Nulo  17.8  4
09/01/1946 0     Nulo  16    4

```

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó en el material y método, la estructura de archivo que se muestra en la figura 4 no era la adecuada para los fines de esta investigación, por lo que todos estos archivos se reestructuraron de forma automatizada, dando como resultado un solo archivo .csv como el que se muestra en la figura 5, donde los valores de precipitación ahora son mensuales. Los campos finales de la tabla que se usaron para el AED y la modelación con aprendizaje automático fueron precipitación –como variable dependiente– y mes, año, latitud, longitud y elevación –variables independientes–. El último campo, con la clave de estación, sólo se usó para fines informativos, ya que no fue relevante en la modelación.

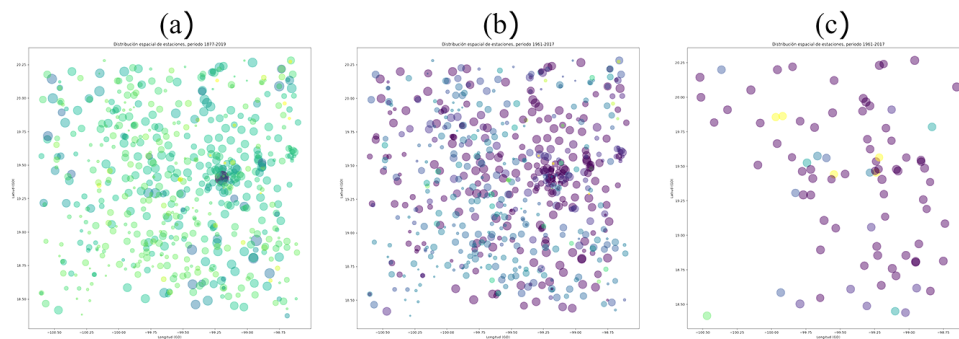
Figura 5. Ejemplo de la estructura final del archivo para usarse en AED y el aprendizaje automático

	A	B	C	D	E	F	G
1	precip	mes	año	latitud	longitud	elevacion	estacion
2	15	5	1962	20.198	-100.363	2271	11012
3	176.5	6	1962	20.198	-100.363	2271	11012
4	125	7	1962	20.198	-100.363	2271	11012
5	163.5	8	1962	20.198	-100.363	2271	11012
6	129	9	1962	20.198	-100.363	2271	11012
7	118	10	1962	20.198	-100.363	2271	11012
8	1.5	11	1962	20.198	-100.363	2271	11012
9	7.5	12	1962	20.198	-100.363	2271	11012
10	0	1	1963	20.198	-100.363	2271	11012

Fuente: elaboración propia.

A partir del conjunto de datos de la Figura 5, se realizó el AED. En la Figura 6a se puede apreciar la distribución en la zona de cobertura del Estado de México del conjunto de datos inicial. En la Figura 6b se muestran sólo las estaciones que tenían datos dentro del periodo 1961-2017 (filtro de periodo de análisis). Finalmente, en la Figura 6c se exponen las estaciones que pasaron las pruebas de datos atípicos y de suficiencia de datos (meses con al menos 80% de datos, años con al menos 80% de datos y estaciones con al menos 80% de años dentro del periodo 1961-2017). Este último conjunto de datos, con 53 369 registros, fue el que se usó en la modelación con aprendizaje automático (conjunto de datos número 5 de la Tabla 1). En la Figura 6, el tamaño de las burbujas indica el número de meses con datos, mientras que el color indica el periodo de años que tiene operando cada estación (los colores oscuros indican mayor antigüedad que los colores claros). En las Figuras 6a y 6b los tamaños y colores son más variados que en la Figura 6c, ya que en esta última sólo se representan las estaciones más homogéneas en cuanto al número de meses con datos disponibles para el periodo 1961-2017.

Figura 6. Estaciones meteorológicas originales descargadas del SMN para el Estado de México (6a), estaciones tras los filtros del periodo de análisis 1961-2017 (6b) y estaciones tras los filtros de datos atípicos y suficiencia de datos (6c).



Fuente: de acuerdo con lo señalado en la sección de Material y método, el modelo de aprendizaje automático seleccionado para realizar la interpolación de los datos mensuales de precipitación en la zona de estudio fue *Random forest regressor*, teniendo como datos de entrada las variables independientes: mes, año, elevación, latitud y longitud de cada una de las celdas de una capa ráster (cuya imagen de referencia fue un MNA).

En cuanto al ajuste de hiperparámetros, aquellos que mejoraron sustancialmente el modelo fueron el número de estimadores (árboles de decisión en el bosque) y la profundidad máxima de los árboles de decisión, cuyos valores finales fueron 1 000 y 40, respectivamente. Con estos valores se calcularon nuevamente las métricas para evaluar el modelo, logrando los valores mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Métricas de evaluación del modelo *Random forest regressor* después de realizar el ajuste de hiperparámetros

<i>Subconjunto de datos</i>	R^2	<i>MAE (mm)</i>	<i>RMSE (mm)</i>
Entrenamiento	0.971	8.052	13.740
Validación	0.793	21.513	36.160

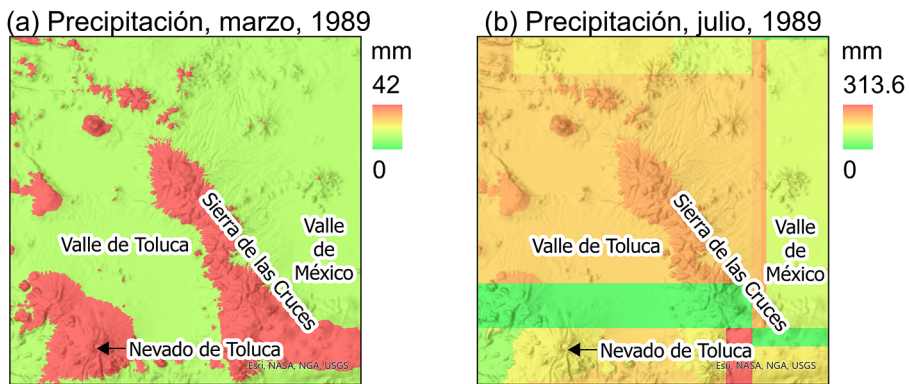
Fuente: elaboración propia.

Con el nuevo modelo entrenado y validado se pueden generar interpolaciones de cualquier zona y temporalidad dentro del marco espaciotemporal definido; es decir, dentro de las coordenadas geográficas extremas del Estado de México y entre los años 1961-2017. Para ejemplificar los resultados que genera el modelo, se interpolaron, a partir de las variables independientes proporcionadas al mismo, capas ráster dentro de las coordenadas extremas 99 a 100°W de longitud y 19 a 20°N de latitud, para los años 1961, 1989 y 2017 (años inicial, medio y final del periodo de datos).

En la figura 7 se expone el resultado de la interpolación para un mes seco y un mes húmedo (enero y julio de 1989, respectivamente). En esta figura se puede apreciar que, si bien la interpolación trata de representar la distribución espacial del relieve (latitud, longitud y elevación) para estimar la distribución de la precipitación, aún existen zonas donde se generaliza el valor de lluvia (franjeas sobre la imagen). Aunque no existe una relación fija entre la elevación y la precipitación, en términos generales se puede indicar que a mayor elevación se da mayor cantidad de lluvia (como en el volcán Nevado de Toluca y la Sierra de las Cruces), y viceversa (como en los valles de México y Toluca). Lo anterior se logra apreciar en la figura 7. Sin embargo, también es importante señalar que el algoritmo aglomera valores en grupos más grandes (las franjas), no logrando separar a detalle los valores a nivel de celda según la resolución de la capa de elevación de entrada (~30 m).

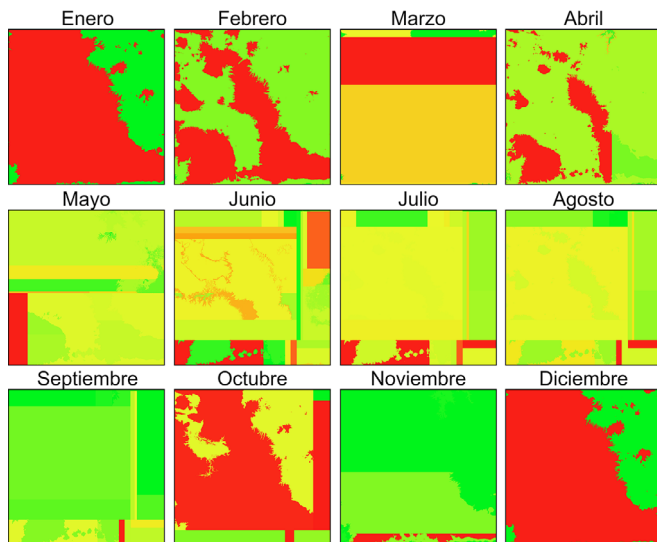
En las figuras 8, 9 y 10 se presentan, para la misma zona, las interpolaciones mensuales para los años 1961, 1989 y 2017, respectivamente. En estas figuras también se aprecia la correcta distribución de la precipitación según latitud, longitud y elevación, pero al mismo tiempo se notan las franjas que contrastan de los valores vecinos, donde el modelo generaliza demasiado los valores según latitud (franjeas horizontales), longitud (franjeas verticales) o elevación (toda una geoforma). Este resultado indica que, si bien el modelo representa con un grado de certidumbre aceptable la precipitación estimada (R^2), su representación espacial debe ser mejorada para que se ajuste más a la configuración del terreno (lo cual a su vez podría mejorar los valores de MAE y RMSE).

Figura 7. Ejemplo de resultado de la interpolación de la precipitación (sobrepuesto en una imagen de sombreado del terreno) para un mes seco (2a) y uno húmedo (2b)



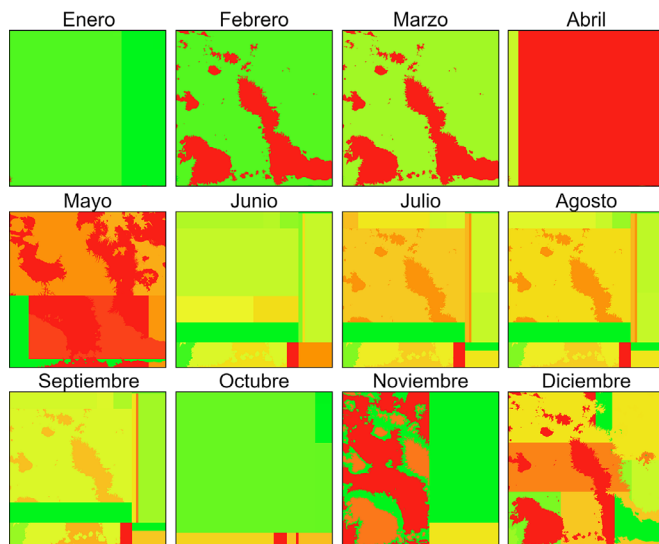
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Interpolaciones mensuales para 1961



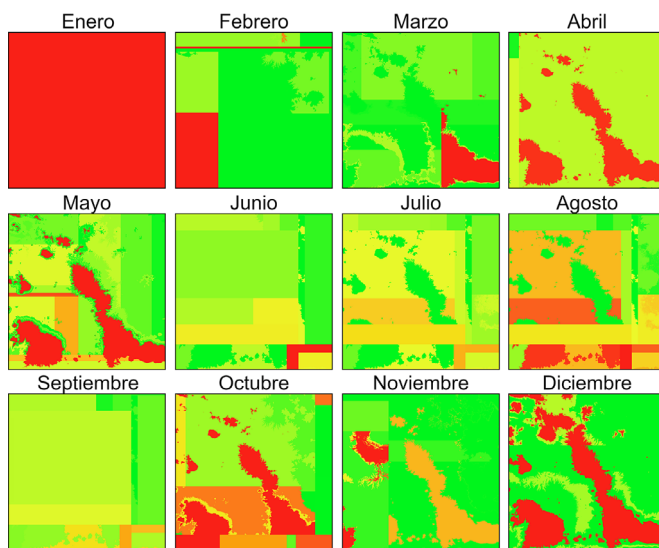
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Interpolaciones mensuales para 1989



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Interpolaciones mensuales para 2017



Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

El procedimiento seguido para el uso de modelos de aprendizaje automático asegura resultados aceptables, ya que se pasó por las etapas de recolección de datos, estructuración de datos, AED y generación del conjunto final de datos, tal y como lo recomiendan Ozdemir et al. (2018).

El modelo con mejor rendimiento fue *Random forest regressor*. Esto coincide con algunas de las investigaciones consultadas (Burengengwa, 2020; Millán, 2023; Sekulić et al., 2020). Además, el modelo RF ha sido ampliamente usado para la estimación de variables espaciales y temporales a partir de la regresión de variables geográficas, las cuales destacan por su heterogeneidad (Cho et al., 2020; He et al., s/f). Sin embargo, es importante tener presente que ningún método de interpolación puede ser generalizado a que sea el óptimo a todos los casos y en todas las disciplinas, ya que existen diversos supuestos que hay que considerar (Burengengwa, 2020), por lo que es recomendable que siempre se prueben varios modelos para seleccionar el que mejor se ajuste a los datos con los que se esté alimentando dicho modelo. Por ejemplo, el modelo *support vector machine* (SVM) ha sido ampliamente usado en campos como la meteorología, hidrología y agricultura para aplicaciones de regresión y predicción (He et al., s/f). De forma complementaria, un criterio para descartar el uso de modelos basados en *artificial neural network* (ANN) es que estos modelos tienen problemas al tratar de optimizar la estructura de la red cuando se trabaja con menos de 100 estaciones meteorológicas (Ding et al., 2023; Li et al. como se citó en Cho et al., 2020).

Al incluir las variables independientes de mes y año de cada evento, se buscó expresar la estacionalidad que tiene la precipitación en la zona de estudio. En el caso de la temperatura, la precisión de cada interpolación parece ser dependiente de la fecha de la observación (Cho et al., 2020). Adicionalmente, las variables independientes de latitud, longitud y elevación buscaron modelar la expresión espacial de la distribución de la lluvia sobre la zona de estudio.

Para los datos de validación, el R^2 logrado fue de 0.793, otras investigaciones están entre 0.696 y 0.82 (Burengengwa, 2020; Sekulić et al., 2020; Sijia et al., 2023; Wang et al., 2021). El valor se considera aceptable. Sin embargo, las otras investigaciones lograron MAE y RMSE menores que 10 mm (Burengengwa, 2020; Sekulić et al., 2020; Sijia et al., 2023; Wang et al., 2021), mientras que aquí se lograron valores de 21.6

mm (MAE) y 36.3 mm (RMSE). Es necesario mejorarlo, sobre todo con la finalidad de optimizar la representación espacial de la distribución de la precipitación sobre el territorio.

Entre las limitaciones que se tuvieron en la presente investigación se encuentra el error irreductible con los datos atípicos presentes. Este error es aquel que se origina en la captura de los datos y no se puede corregir. Además, es importante reconocer que, por los criterios empleados en este estudio, no necesariamente se filtraron todos los datos atípicos o se eliminaron algunos que sí eran legítimos. Por lo tanto, es necesario dedicar tiempo a validar todos esos datos consultando el tipo de evento que ocurrió en cada una de las fechas de eventos.

Por otro lado, y aunque las estaciones meteorológicas normalmente incluyen información sobre la elevación a la que está localizada, Hutchinson & Xu (2013) y Méndez & Calvo-Valverde (2020) proponen extraer la elevación del DEM. Finalmente, las variables independientes empleadas en esta investigación se pueden complementar. Por ejemplo, hay que probar agregando pendiente del terreno y orientación de laderas, como lo han hecho Burengengwa (2020) y Millán (2023).

Los resultados logrados y discutidos exponen áreas de oportunidad para mejorar los productos generados para el Estado de México, tal y como lo han identificado Wang et al. (2021), quienes señalan que todavía es necesario explorar algunas cuestiones en torno al uso del aprendizaje automático, como la selección de variables, la validación cruzada con base espacial, modelación en distintas zonas climáticas y el impacto de la distancia entre puntos de observación. Además, la decisión de la resolución de las capas ráster de salida es un tema que debe considerarse, ya que ésta puede influir en los resultados (Cho et al., 2020). Los dos factores principales a considerar en la definición de la resolución son la densidad de estaciones y la distancia entre éstas (Heng como se citó en Cho et al., 2020).

CONCLUSIONES

En este estudio se planteó la importancia de la interpolación espacial de datos de precipitación debido a los diversos usos y aplicaciones que tiene en la actualidad. Además, se identificó la factibilidad de emplear el aprendizaje automático para este propósito. Con base en lo anterior, y para dar cumplimiento al objetivo de

investigación propuesto, se expuso la forma en que se automatizó la recopilación y estructuración de datos de precipitación mensual para el Estado de México. Posteriormente, se mostró el análisis exploratorio de datos para generar un conjunto de datos homogéneo temporal y espacialmente hablando (del periodo 1961-2017), el cual se usó en diversos modelos de aprendizaje automático, siendo el de mejor rendimiento *Random forest regressor*. Con este último modelo se generaron interpolaciones de precipitación mensual a partir de las variables latitud, longitud, elevación, mes y año (de los eventos de lluvia). Con base en los resultados obtenidos y su discusión, se establece que es necesario optimizar las métricas de MAE y RMSE para mejorar la precisión del modelo y, desde el punto de vista espacial, que se requiere mejorar el producto final, de tal forma que represente una distribución espacial continua de la precipitación, acorde a como ocurre en la realidad.

La investigación produjo aplicaciones que automatizaron algunas de las tareas que se realizaron, específicamente para la descarga y estructuración de datos, así como para la generación de las capas ráster interpoladas. Estas aplicaciones se podrán emplear en proyectos futuros, tanto relacionados con aprendizaje automático como con otros ámbitos del estudio del clima.

De forma global, se concluye que es necesario evaluar la condición de los datos que ofrece el SMN (ya que ésta asegura la calidad de las capas interpoladas), que el avance tecnológico reciente permite aplicar métodos que requieren amplia capacidad de cómputo y que es fundamental continuar explorando la utilidad del aprendizaje automático en la interpolación de elementos climáticos.

REFERENCIAS

- Appelhans, T., Mwangomo, E., Hardy, D. R., Hemp, A. & Naus, T. (2015). Evaluating machine learning approaches for the interpolation of monthly air temperature at Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Spatial Statistics*, 14, 91-113. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2015.05.008>
- Bellido-Jiménez, J. A., Gualda, J. E. & García-Marín, A. P. (2021). Assessing Machine Learning Models for Gap Filling Daily Rainfall Series in a Semiarid Region of Spain. *Atmosphere*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/atmos12091158>
- Burengengwa, G. (2020). *Comparison of approaches for spatial interpolation of weather data on a specific date*. [Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Stellenbosch].

- Cho, D., Yoo, C., Im, J., Lee, Y. & Lee, J. (2020). Improvement of spatial interpolation accuracy of daily maximum air temperature in urban areas using a stacking ensemble technique. *GIScience & Remote Sensing*, 57(5), 633-649. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1766768>
- Cuadrat, J. & Pita, M. F. (1997). *Climatología*. Cátedra.
- Ding, X., Zhao, Y., Fan, Y., Li, Y. & Ge, J. (2023). *Machine learning-assisted mapping of city-scale air temperature: Using sparse meteorological data for urban climate modeling and adaptation* [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2441080/v1>
- Hatanaka, Y. M. (2022). *Machine learning based statistical downscaling for rainfall on hawaiian islands*. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/bcf7d1af-be4f-4e93-8d2a-0054995f68a0/content>
- He, Q., Wang, M., Liu, K., Li, K. & Jiang, Z. (s/f). *GPRChinaTemp1km: A high-resolution monthly air temperature dataset for China (1951-2020) based on machine learning*. Earth System Science Data, preprint, 1-29.
- Hutchinson, M. F. & Xu, T. (2013). *ANUSPLIN Version 4.4 User Guide*. The Australian National University. <https://fennergchool.anu.edu.au/files/anusplin44.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Presentación de resultados. Estados Unidos Mexicanos. Censo 2020 de Población y Vivienda*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/Censo2020_Principales_resultados_EUM.pdf
- Jose, D. M., Vincent, A. M. & Dwarakish, G. S. (2022). Improving multiple model ensemble predictions of daily precipitation and temperature through machine learning techniques. *Scientific Reports*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08786-w>
- Kartal, S. & Sekertekin, A. (2022). Prediction of MODIS land surface temperature using new hybrid models based on spatial interpolation techniques and deep learning models. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(44), 67115–67134. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20572-9>
- Kirkwood, C., Economou, T., Pugeault, N. & Odbert, H. (2022). Bayesian Deep Learning for Spatial Interpolation in the Presence of Auxiliary Information. *Mathematical Geosciences*, 54(3), 507-531. <https://doi.org/10.1007/s11004-021-09988-0>
- Méndez, M. & Calvo-Valverde, L. A. (2020). Comparison performance of machine learning and geostatistical methods for the interpolation of monthly air temperature over Costa Rica. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 432(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/432/1/012011>

- Millán, C. (2023). *Conjunto de datos de precipitación grillada diaria de alta resolución para la vertiente del Pacífico en Perú mediante una interpolación espacial Random Forest*. https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/2781/Conjunto-de-datos-de-precipitaci%C3%B3n-grillada-diaria-de-alta-resoluci%C3%B3n-para-la-vertiente-del-pacifico-en-Per%C3%BA-mediante-una-interpolaci%C3%B3n-especial-Random-Forest_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mínga, S. (2018). *Análisis de cambio del rendimiento hídrico actual y bajo escenarios climáticos futuros en la región sur del Ecuador*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Nan, T., Chen, J., Ding, Z., Li, W. & Chen, H. (2023). Deep learning-based multi-source precipitation merging for the Tibetan Plateau. *Science China Earth Sciences*, 66(4), 852-870. <https://doi.org/10.1007/s11430-022-1050-2>
- Naranjo, D. F. y González, J. J. F. (s/f). *Pronóstico de la precipitación para la zona de influencia de la estación agroclimática Yariguies, utilizando técnicas de Machine Learning*.
- Organización Meteorológica Mundial. (2009). *Guía de prácticas hidrológicas: Vol. II*. OMM. https://library.wmo.int/viewer/33046?medianame=168-2009-v2_es_#page=1&viewer=picture&co=download&n=0&q=
- Ozdemir, S., Kakade, S. & Tibaldeschi, M. (2018). *Principles of Data Science* (2a ed.). Packt Publishing.
- Pinthong, S., Ditthakit, P., Salaeh, N., Hasan, M. A., Son, C. T., Linh, N. T. T., Islam, S. & Yadav, K. K. (2022). Imputation of missing monthly rainfall data using machine learning and spatial interpolation approaches in Thale Sap Songkhla River Basin, Thailand. *Environmental Science and Pollution Research International*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23022-8>
- Sekulić, A., Kilibarda, M., Heuvelink, G. B. M., Nikolić, M. & Bajat, B. (2020). Random Forest Spatial Interpolation. *Remote Sensing*, 12(10), 1687. <https://doi.org/10.3390/rs12101687>
- Sijja, J., Tianjun, W., Jiancheng, L., Ya'nan, Z., Wen, D., Changpeng, W. & Shiyong, D. (2023). Spatial prediction using random forest spatial interpolation with sample augmentation: A case study for precipitation mapping. *Earth Science Informatics*, 16(1), 863-875. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-00936-6>
- Sistema Meteorológico Nacional. (s/f). *Información estadística climatológica*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

- Tatsubori, M., Moriyama, T., Ishikawa, T., Fraccaro, P., Jones, A., Edwards, B., Kuehnert, J. & Remy, S. L. (2022). *Deep Temporal Interpolation of Radar-based Precipitation* (arXiv:2203.01277). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.01277>
- Wang, F., Tian, D., Lowe, L., Kalin, L. & Lehrter, J. (2021). Deep Learning for Daily Precipitation and Temperature Downscaling. *Water Resources Research*, 57(4), e2020WR029308. <https://doi.org/10.1029/2020WR029308>
- Xu, C., Lin, M., Fang, Q., Chen, J., Yue, Q. & Xia, J. (2023). Air temperature estimation over winter wheat fields by integrating machine learning and remote sensing techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122, 103416. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103416>
- Yildirim, D., Küçüktopcu, E., Cemek, B. & Simsek, H. (2023). Comparison of machine learning techniques and spatial distribution of daily reference evapotranspiration in Türkiye. *Applied Water Science*, 13(4), 107. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01912-7>
- Zhang, Y., Feng, M., Zhang, W., Wang, H. & Wang, P. (2021). A Gaussian process regression-based sea surface temperature interpolation algorithm. *Journal of Oceanology and Limnology*, 39(4), 1211-1221. <https://doi.org/10.1007/s00343-020-0062-1>

ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD: EVALUANDO LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE RELACIONADOS CON LA SALUD EN EL ESTADO DE MÉXICO

*Giovanna Santana Castañeda**
*Christian Ivan Sánchez Carrillo**

RESUMEN

La salud es un derecho humano fundamental, de tal modo que los indicadores relacionados con ésta son una herramienta esencial para medir y evaluar el progreso hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Así, 12 objetivos, 33 metas y 57 indicadores están relacionados con la salud. Por ello, se propone desarrollar un índice para evaluarlos, herramienta clave para la toma de decisiones informada y para identificar áreas en donde se deben enfocar los esfuerzos y aplicar estrategias concretas para alcanzar esos objetivos. Esto implica obtener y estandarizar los indicadores relacionados con la salud a nivel municipal; realizar un análisis de la distribución, correlaciones y agrupamiento de los indicadores disponibles para el Estado de México al 2020, así como calcular el índice a partir de técnicas de evaluación multicriterio como las jerarquías analíticas, comparación por pares y combinación lineal ponderada de los indicadores a nivel municipal. El desarrollo de este índice enfrenta varios desafíos: seleccionar los indicadores, disponer de datos confiables y consistentes y asignar pesos adecuados a cada uno de ellos. Es importante mencionar que los ODS están interconectados; es decir, la mejora o deterioro de uno puede afectar a otro, por lo que el índice reflejará esta interconexión y de este modo evitará la evaluación aislada de cada objetivo.

Palabras clave: Objetivos de desarrollo sostenible, Indicadores de salud.

* Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, gsantanac@uaemex.mx; csanchezc014@profesor.uaemex.mx

INTRODUCCIÓN

La salud pública constituye un pilar fundamental en el desarrollo social y económico de las naciones, especialmente en regiones donde las dinámicas demográficas y ambientales presentan complejidades particulares. En este contexto, el Estado de México representa un caso de estudio relevante debido a su importancia estratégica, tanto por su ubicación geográfica como por su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020).

La relación entre los condicionantes sociales, económicos y ambientales de la salud en el Estado de México pone de manifiesto disparidades estructurales que afectan la calidad de vida de su población, problemas como la mortalidad infantil, las enfermedades no transmisibles y la violencia de género coexisten con una desigual distribución de recursos, lo que plantea retos sustanciales para el diseño de políticas públicas orientadas a garantizar el bienestar integral de los habitantes. Estos desafíos son particularmente evidentes en las diferencias entre municipios rurales y urbanos, donde las tasas de mortalidad infantil, la cobertura médica y el acceso a agua potable varían considerablemente (Asma et al., 2020; OMS, 2020).

En este contexto, el análisis de los indicadores relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), propuestos por la Organización de las Naciones Unidas [ONU] en 2020 permite evaluar la situación actual y los avances en materia de salud pública, indicadores como la tasa de mortalidad materna, la prevalencia de enfermedades crónicas y el acceso a servicios básicos ofrecen una visión integral de los retos sanitarios en la entidad. Además, estas métricas posibilitan identificar correlaciones clave entre factores ambientales, económicos y sociales que influyen en la mortalidad y el bienestar general (SDG Collaborators, 2016; Novillo-Ortiz et al., 2021).

Este estudio se enfoca en analizar las disparidades en indicadores de salud entre los municipios del Estado de México, considerando su alineación con las metas de los ODS, mediante herramientas estadísticas como el Análisis de Componentes Principales (PCA), el método de agrupamiento K-Means y técnicas de evaluación multicriterio; así, se exploran patrones clave en los datos y se construye un índice compuesto que integra múltiples métricas de salud. Los resultados de este análisis buscan proporcionar una base sólida para la priorización de políticas públicas que

promuevan un desarrollo equitativo, con énfasis en las áreas más desfavorecidas. De esta manera, se pretende contribuir al fortalecimiento de estrategias que permitan abordar los determinantes estructurales de la salud y reducir las desigualdades entre los municipios de esta entidad.

ANTECEDENTES

En septiembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó los Objetivos de Desarrollo Sostenible, un marco ambicioso que incluye 17 objetivos, 169 metas y 232 indicadores (ONU, 2020). De este conjunto, una porción significativa está directamente relacionada con la salud: 12 objetivos, 33 metas y 57 indicadores, los cuales abordan principalmente resultados en salud, servicios de atención médica y riesgos ambientales (SDG Collaborators, 2016; OMS, 2020; Asma et al., 2020; Novillo-Ortiz et al., 2021; Wilson et al., 2021). Este enfoque refleja el compromiso de garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las edades (ONU, 2022).

La medición, análisis y visualización de estos indicadores es fundamental para monitorear avances y diseñar políticas efectivas, diversas investigaciones también han explorado la relación de los ODS con sectores específicos. Por ejemplo, la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN), en colaboración con otras instituciones, elaboró un atlas que analiza la relación entre la minería y los ODS (Columbia Center on Sustainable Investment, Sustainable Development Solutions Network, United Nations Development Programme [CCSI, SDSN, PNUD], 2016). Asimismo, Capello et al. (2021) desarrollaron el *Atlas de sostenibilidad geofísica*, subrayando la importancia de la ciencia en la práctica y aplicación de los ODS. Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) lanzó en 2020 las *Estadísticas sanitarias mundiales: monitoreando la salud para los ODS*, que incluyen un análisis basado en 46 indicadores relacionados con la salud (OMS, 2020).

En el ámbito nacional, México carece de un atlas geográfico integral que aborde los ODS relacionados con la salud (ODSRS); no obstante, se han llevado a cabo esfuerzos para analizar las desigualdades en salud entre los 32 estados (Urbina-Fuentes et al., 2017; Gutiérrez et al., 2020). El Gobierno de México y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) han puesto a disposición el Sistema de Información

sobre el Avance en el Seguimiento de los ODS (SIODS), que presenta información a nivel estatal, pero carece de datos desagregados por municipio, como es el caso de los municipios del Estado de México (GM e INEGI, 2021).

Los indicadores de los ODS relacionados con la salud presentan avances desiguales entre los municipios, debido a factores como las desigualdades socioeconómicas, que afectan el acceso a los servicios de salud; en respuesta a esta problemática, se diseña un índice compuesto que integra los indicadores relacionados con la salud, el cual permite identificar desigualdades territoriales en el Estado de México.

ASPECTOS TEÓRICOS

La salud pública se define como el estado de completo bienestar físico, mental y social de una población, y no solamente como la ausencia de enfermedad (OMS, 1948). Este enfoque integral ha llevado a identificar y estudiar los determinantes y condicionantes de la salud (Buzai y Santana, 2018), que son factores individuales, sociales, económicos y ambientales que influyen directa o indirectamente en el bienestar de las personas. Según Dahlgren & Whitehead (1991), estos determinantes o condicionantes se organizan en capas interrelacionadas que abarcan desde características individuales, como la edad, el sexo y la composición genética, hasta factores estructurales, como el entorno físico, las políticas públicas y las condiciones económicas.

Entre los determinantes o condicionantes sociales de la salud destacan las desigualdades en el acceso a servicios básicos, la educación, el empleo y la vivienda, que impactan significativamente en los resultados sanitarios. Wilkinson & Marmot (2003) señalan que las condiciones socioeconómicas determinan no sólo la calidad de vida, sino también la exposición a factores de riesgo, como la malnutrición, el estrés crónico y el acceso limitado a la atención médica. En el contexto del Estado de México, las disparidades socioeconómicas entre los municipios representan un desafío crítico, especialmente en áreas rurales donde los índices de pobreza y marginación son más elevados según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval, 2020).

El entorno físico y ambiental es otro determinante clave de la salud pública; la calidad del aire, el acceso al agua potable, el saneamiento básico y la gestión adecuada

de residuos son esenciales para prevenir enfermedades infecciosas y crónicas (OMS, 2016). En el Estado de México, problemas como la contaminación atmosférica, la sobreexplotación de acuíferos y la deficiente infraestructura de saneamiento impactan negativamente en la salud de la población, especialmente en zonas metropolitanas como Toluca y Ecatepec, donde los niveles de partículas finas (PM2.5) superan los límites establecidos por la OMS según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2021).

En la capa más inmediata, los estilos de vida individuales también contribuyen a las condiciones de salud, por lo que la alimentación, la actividad física, el consumo de tabaco y alcohol, así como el uso de servicios de salud preventivos son elementos cruciales que interactúan con los factores sociales y ambientales. Por ejemplo, la prevalencia de enfermedades no transmisibles, como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares, está asociada a hábitos alimenticios poco saludables y al sedentarismo; estas condiciones prevalecen en varios municipios del Estado de México debido, entre otros factores, a la urbanización acelerada y la disponibilidad limitada de opciones alimentarias saludables (Asociación Mexicana de Diabetes, 2020).

Considerando el marco de los ODS, éste establece metas específicas para mejorar la salud global, destacando la importancia de abordar las inequidades estructurales y los factores determinantes de la salud; por ejemplo, el ODS 3 se centra en garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las edades, mientras que el 6 y el 11 abordan la disponibilidad de agua potable, el saneamiento y la sostenibilidad de los asentamientos humanos, respectivamente (ONU, 2015).

Los determinantes de la salud funcionan como un sistema complejo e interconectado, en el que factores individuales, sociales, económicos y ambientales convergen para influir en los resultados sanitarios. Es importante comprender estas interacciones para diseñar políticas públicas efectivas y sostenibles que reduzcan las desigualdades, mejoren el acceso a los servicios de salud y promuevan el bienestar general de la población. En el contexto del Estado de México, el análisis de estos determinantes no sólo identifica las principales áreas de oportunidad, sino que también subraya la necesidad de implementar estrategias integrales alineadas con los ODS, y estas estrategias son esenciales para enfrentar los desafíos de salud pública, ya que incorporan perspectivas multisectoriales y garantizan un desarrollo equitativo y sostenible.

METODOLOGÍA

La presente investigación se basa en una metodología de enfoque cuantitativo y transversal, diseñada para analizar indicadores numéricos que reflejan los determinantes de salud en el Estado de México durante 2020. Este enfoque cuantitativo permite medir, analizar y comparar datos de manera objetiva, utilizando información estadística obtenida de fuentes oficiales como el INEGI y la Secretaría de Salud de México. Esto implica que los datos fueron recolectados y analizados en un punto específico en el tiempo, lo que proporciona una instantánea representativa de las condiciones de salud y los factores asociados en 2020.

UNIVERSO DE ESTUDIO

El área de estudio son los 125 municipios del Estado de México, entidad más poblada de México (Figura 1), que de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda de 2020 residen 16 992 418 personas, de las cuales, 51.4% corresponde a mujeres y 48.6% a hombres (INEGI, 2020). Ecatepec de Morelos es el más poblado con 1 645 352 habitantes, mientras que Papalotla es el menos poblado, con 4 862 habitantes (INEGI, 2021).

El Estado de México es una de las entidades federativas más importantes de México por su relevancia económica, demográfica y ambiental, ya que se encuentra situado en el centro del país, y rodeado por ocho estados y la Ciudad de México, lo que le otorga un papel estratégico en la conectividad y el desarrollo nacional. Cuenta con una población de 16 992 418 habitantes (INEGI, 2020), que representa 13.5% de la población nacional, consolidándose como la entidad más poblada del país, y su importancia se refleja en la contribución al PIB, que equivale a 9.1% del total nacional (INEGI, 2020). Este territorio alberga una diversidad de ecosistemas: bosques templados, pastizales y selvas bajas caducifolias, esto lo convierte en un espacio clave para la conservación de la biodiversidad, por ejemplo, las áreas verdes como el Parque Nacional nevado de Toluca y el Santuario de la Mariposa Nonarca son esenciales para la preservación de especies y la regulación climática.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, estos ecosistemas proporcionan servicios ambientales, como captura de carbono, regulación hídrica y mantenimiento de la

calidad del aire; sin embargo, el crecimiento urbano y la presión sobre los recursos naturales plantean retos significativos en términos de conservación y desarrollo sostenible. Por ejemplo, el Estado de México enfrenta problemas críticos de contaminación atmosférica, especialmente en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, lo que impacta directamente en la salud pública y requiere acciones que están en línea con la agenda de los ODS (3); otro ejemplo es la sobreexplotación de acuíferos y la contaminación hídrica que afectan tanto al suministro como a la calidad del agua potable, alineándose con el ODS 6; otra área de oportunidad es la promoción de fuentes de energía limpia, como la solar, en zonas rurales, que podría mitigar el impacto ambiental, en concordancia con el ODS 7; también fomentar ciudades sostenibles mediante transporte público eficiente y zonas verdes ayudaría a mejorar la calidad de vida y la salud de la población en concordancia con el ODS 11.

Asimismo, la salud en el Estado de México está vinculada a factores ambientales y sociales, problemas como enfermedades respiratorias derivadas de la contaminación del aire, obesidad y diabetes por hábitos alimenticios poco saludables, y enfermedades transmisibles en comunidades vulnerables que también requieren atención prioritaria. Por otra parte, existen iniciativas como la ampliación de la cobertura médica en comunidades rurales y programas de vacunación masiva, las cuales contribuyen a la reducción de la mortalidad infantil y de enfermedades prevenibles.

Figura 1. Mapa de localización del Estado de México a nivel municipal



Fuente: elaboración propia con base en el sistema de coordenadas geográfico con datos del marco geoestadístico de INEGI (2020).

VARIABLES CONSIDERADAS

La revisión de estudios previos (SDG Collaborators, 2016; OMS, 2020; Asma et al., 2020; Novillo-Ortiz et al., 2021) consideró inicialmente un amplio conjunto de objetivos, metas e indicadores establecidos en los ODS relacionados con la salud; entre éstos se incluyen los objetivos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 13 y 16, con metas que abarcan aspectos como la reducción de la mortalidad materna e infantil, el combate a enfermedades transmisibles y no transmisibles, el acceso a servicios esenciales de salud y la promoción de la igualdad de género y condiciones ambientales saludables, entre otros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Objetivos, metas e indicadores de los ODS de las Naciones Unidas, relacionados con la salud

<i>Objetivo y meta</i>	<i>Indicador ODS relacionado con la salud</i>
Objetivo 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo	
Meta 1.5: para 2030, fomentar la resiliencia de los pobres y las personas en situaciones vulnerables y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos relacionados con el clima y otras perturbaciones y desastres económicos, sociales y ambientales.	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a la exposición a las fuerzas de la naturaleza, por 100 000 habitantes.
Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, y promover la agricultura sostenible	
Meta 2.2: para 2030, poner fin a todas las formas de malnutrición, incluido el logro para 2025, de las metas acordadas internacionalmente sobre el retraso en el crecimiento y la emaciación en niños menores de 5 años, y abordar las necesidades nutricionales de las adolescentes, las mujeres embarazadas y lactantes, y las personas de edad.	Prevalencia de retraso en el crecimiento en niños menores de 5 años, (%).

Continúa...

<i>Objetivo y meta</i>	<i>Indicador ODS relacionado con la salud</i>
Meta 2.2	Prevalencia de emaciación en niños menores de 5 años, (%).
Meta 2.2	Prevalencia de sobrepeso en niños de 2 a 4 años, %.
Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades	
Meta 3.1: para 2030, reducir la tasa mundial de mortalidad materna a menos de 70 por cada 100 000 nacidos vivos.	Tasa de mortalidad materna.
Meta 3.1	Proporción de partos atendidos por personal sanitario cualificado (médicos, enfermeras, matronas o personal médico específico).
Meta 3.2: para 2030, poner fin a las muertes prevenibles de recién nacidos y niños menores de 5 años, y todos los países tienen como objetivo reducir la mortalidad neonatal a por lo menos 12 por 1 000 nacidos vivos y la mortalidad de menores de 5 años a al menos 25 por 1 000 nacidos vivos.	Probabilidad de morir antes de los 5 años por cada 1 000 nacidos vivos.
Meta 3.2	Probabilidad de morir durante los primeros 28 días de vida por cada 1 000 nacidos vivos.
Meta 3.3: para 2030, poner fin a las epidemias de sida, tuberculosis, malaria y enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles.	Tasa estandarizada por edad de nuevas infecciones por VIH, por cada 1 000 habitantes.
Meta 3.3	Tasa estandarizada por edad de casos de tuberculosis nuevos y recidivantes, por 1 000 habitantes.
Meta 3.3	Tasa estandarizada por edad de casos de malaria, por cada 1 000 habitantes.

Continúa...

<i>Objetivo y meta</i>	<i>Indicador ODS relacionado con la salud</i>
Meta 3.3	Tasa estandarizada por edad de incidencia de hepatitis B, por 100 000 habitantes.
Meta 3.3	Prevalencia estandarizada por edad de enfermedades tropicales desatendidas, por 100 000 habitantes.
Meta 3.4: para 2030, reducir en un tercio la mortalidad prematura por ENT mediante la prevención y el tratamiento, y promover la salud mental y el bienestar.	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes y enfermedades respiratorias crónicas en poblaciones de 30 a 70 años, por cada 100 000 habitantes.
Meta 3.4	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a autolesiones, por cada 100 000 habitantes.
Meta 3.5: fortalecer la prevención y el tratamiento del uso indebido de sustancias, incluido el uso indebido de estupefacientes y el uso nocivo del alcohol.	Prevalencia ponderada por riesgo del consumo de alcohol, medida por el SEV para el consumo de alcohol, %.
Meta 3.6: para 2020, reducir a la mitad el número de muertes y lesiones mundiales causadas por accidentes de tráfico.	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a lesiones causadas por accidentes de tráfico, por cada 100 000 habitantes.
Meta 3.7: para 2030, garantizar el acceso universal a los servicios de atención de la salud sexual y reproductiva, incluidos los de planificación familiar, información y educación, y la integración de la salud reproductiva en las estrategias y programas nacionales.	Proporción de mujeres en edad reproductiva (15-49 años) que tienen su necesidad de planificación familiar satisfecha con los métodos modernos, % de mujeres de 15 a 49 años.
Meta 3.7	Tasa de natalidad adolescente

Continúa...

<i>Objetivo y meta</i>	<i>Indicador ODS relacionado con la salud</i>
Meta 3.8: lograr la cobertura sanitaria universal, incluida la protección contra los riesgos financieros, el acceso a servicios esenciales de atención de la salud de calidad y el acceso a medicamentos y vacunas esenciales seguros, eficaces, de calidad y asequibles para todos.	Trazador de la cobertura sanitaria universal.
Meta 3.9: para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.	Tasa de mortalidad estandarizada por edad atribuible a la contaminación del aire en los hogares y la contaminación del aire en el ambiente, por cada 100 000 habitantes.
Meta 3.9	Tasa de mortalidad estandarizada por edad atribuible a WaSH insegura, por cada 100 000 habitantes.
Meta 3.9	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a intoxicaciones no intencionales, por cada 100 000 habitantes.
Meta 3.a: fortalecer la aplicación del Convenio Marco de la Organización Mundial de la Salud para el Control del Tabaco en todos los países, según proceda.	Prevalencia estandarizada por edad del tabaquismo diario en poblaciones de 10 años o más, % de la población de 10 años o más.
Objetivo 5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y niñas	
Meta 5.2: eliminar todas las formas de violencia contra todas las mujeres y niñas en las esferas pública y privada, incluida la trata y la explotación sexual y de otro tipo.	Prevalencia estandarizada por edad de mujeres de 15 años o más que sufrieron violencia de pareja, % de mujeres de 15 años o más.
Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos	
Meta 6.1: para 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para todos.	Prevalencia ponderada por riesgo de poblaciones que utilizan fuentes de agua inseguras o no mejoradas, medida por el sev para el agua no segura, %.

Continúa...

<i>Objetivo y meta</i>	<i>Indicador ODS relacionado con la salud</i>
Meta 6.2: para 2030, lograr el acceso a un saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas, así como a las personas en situaciones vulnerables.	Prevalencia ponderada por riesgo de poblaciones que utilizan saneamiento inseguro o no mejorado, medida por el SEV para el saneamiento inseguro, %.
Meta 6.2	Prevalencia ponderada por riesgo de poblaciones con higiene insegura (sin lavado de manos con jabón), medida por el SEV para una higiene insegura, %.
Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos	
Meta 7.1: para 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.	Prevalencia ponderada por riesgo de contaminación atmosférica doméstica, medida por el SEV para la contaminación atmosférica doméstica, %.
Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos	
Meta 8.8: proteger los derechos laborales y promover entornos de trabajo seguros para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes, y las personas con empleos precarios.	Tasa de AVAD por todas las causas normalizada por edad atribuible a riesgos laborales, por cada 100 000 habitantes.
Objetivo 11. Hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles	

Continúa...

<i>Objetivo y meta</i>	<i>Indicador ODS relacionado con la salud</i>
Meta 11.5: para 2030, reducir significativamente el número de muertes y el número de personas afectadas y disminuir sustancialmente las pérdidas económicas directas en relación con el producto interno bruto mundial causadas por desastres, incluidos los desastres relacionados con el agua, con un enfoque en la protección de los pobres y las personas en situaciones vulnerables.	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a la exposición a las fuerzas de la naturaleza, por cada 100 000 habitantes.
Meta 11.6: para 2030, reducir el impacto ambiental adverso per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de desechos municipales y de otro tipo.	Niveles medios ponderados por la población de PM2.5, µg/m ³ .
Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus repercusiones	
Meta 13.1: fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los peligros relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a la exposición a las fuerzas de la naturaleza, por cada 100 000 habitantes.
Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, proporcionar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles	
Meta 16.1: reducir significativamente todas las formas de violencia y las tasas de mortalidad conexas en todas partes.	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a la violencia interpersonal, por cada 100 000 habitantes.
Meta 16.1	Tasa de mortalidad estandarizada por edad debido a la violencia colectiva y la intervención legal, por cada 100 000 habitantes.

Fuente: elaboración propia con base en SDG Collaborators (2016); OMS (2020); Asma et al. (2020); Novillo-Ortiz et al. (2021); Wilson et al. (2021).

Cada uno de estos indicadores es reconocido como una herramienta clave para monitorear los avances en la implementación de políticas de salud pública, pero no todos fueron incorporados en el presente trabajo. La selección de los indicadores para este estudio, como se ha mencionado, se basó en su relevancia directa con las metas de los ODS relacionados con la salud y en su aplicabilidad en el contexto municipal, por lo que se incluyeron indicadores que abarcan aspectos fundamentales de la salud pública, como la mortalidad infantil y materna, las enfermedades no transmisibles, el acceso a la salud reproductiva, las condiciones ambientales que afectan la salud y la violencia de género (Cuadro 2). Estos indicadores proporcionan una visión integral del progreso en salud pública; además, las mediciones para estos indicadores son factibles con los datos disponibles, garantizando su viabilidad en términos de recolección y análisis.

Cuadro 2. Indicadores seleccionados para el Estado de México

Tasa de mortalidad de menores de 5 años por 10 000 habitantes
Tasa de mortalidad de 6 a 11 años por 100 000 habitantes
Tasa de mortalidad de 12 a 39 años por 10 000 habitantes
Tasa de mortalidad de 40 a 65 años por 10 000 habitantes
Tasa de mortalidad de más de 65 años por cada 1 000 habitantes
Tasa de mortalidad materna por cada 100 000 mujeres en edad fértil (15 a 49 años)
Porcentaje de mujeres que recibieron alguna atención en su último parto
Porcentaje de partos atendidos por personal calificado (médicos)
Porcentaje de partos atendidos por personal calificado (enfermeras o matronas)
Tasa de mortalidad de menores de 28 días por cada 10 000 nacidos vivos
Tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 10 000 habitantes
Tasa de mortalidad por cáncer en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 10 000 habitantes

Continúa...

Tasa de mortalidad por diabetes en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 10 000 habitantes
Tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 100 000 habitantes
Porcentaje de mujeres en edad reproductiva que están utilizando métodos modernos de planificación familiar
Tasa de nacimientos de madres adolescentes (15 a 19 años) por cada 1 000
Tasa de mortalidad atribuible a condiciones de salud inseguras, como agua potable limpia, saneamiento y malas prácticas de higiene
Tasa de violencia de pareja (violencia de género por cada 100 000 mujeres de 15 años o más)
Porcentaje de población que utiliza fuentes de agua inseguras o no mejoradas (sin agua potable)

Fuente: elaboración propia con base en SDG Collaborators (2016); OMS (2020); Asma et al. (2020); Novillo-Ortiz et al. (2021); Wilson et al. (2021).

Las fórmulas para calcular cada uno de los indicadores mencionados en el cuadro 2 fueron elaboradas con base en diversas fuentes, entre ellas se encuentran: la Dirección General de Evaluación del Desempeño (2013), a través de su *Manual de indicadores para evaluación de servicios hospitalarios*, publicado por la Secretaría de Salud; la Dirección General de Información en Salud (s.f.), en su documento *Mortalidad Definiciones*, también de la Secretaría de Salud; el trabajo de Saavedra Figueroa (2016), titulado *Indicadores de nivel de salud: Cálculo e interpretación*, de la Universidad de Chile; el *Método de cálculo de indicadores estatales: Salud*, elaborado por el INEGI (s/f); y finalmente, el *Sistema estándar de indicadores básicos en salud* del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (s/f).

1. Tasa de mortalidad de menores de 5 años por 10 000 habitantes

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones de menos de 5 años}}{\text{Población de menos de 5 años}} \right) \times 10,000$$

2. Tasa de mortalidad de 6 a 11 años por 100 000 habitantes

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones de 6 a 11 años}}{\text{Población de 6 a 11 años}} \right) \times 10,000$$

3. Tasa de mortalidad de 12 a 39 años por 10 000 habitantes

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones de 12 a 39 años}}{\text{Población de 12 a 39 años}} \right) \times 10,000$$

4. Tasa de mortalidad de 40 a 65 años por 10 000 habitantes

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones de 40 a 65 años}}{\text{Población de 40 a 65 años}} \right) \times 10,000$$

5. Tasa de mortalidad de más de 65 años por cada 1 000 habitantes

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones de más de 65 años}}{\text{Población de más de 65 años}} \right) \times 10,000$$

6. Tasa de mortalidad materna por cada 100 000 mujeres en edad fértil (15 a 49 años)

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones maternas}}{\text{Número de mujeres en edad fértil (15 a 49 años)}} \right) \times 100,000$$

7. Porcentaje de mujeres que recibieron alguna atención en su último parto

Porcentaje

$$= \left(\frac{\text{Número total de mujeres que recibieron alguna atención en su último parto}}{\text{Total de nacimientos}} \right) \times 100$$

8. Porcentaje de partos atendidos por personal calificado (médicos)

$$\text{Porcentaje} = \left(\frac{\text{Número total de partos atendidos por médicos}}{\text{Total de nacimientos}} \right) \times 100$$

9. Porcentaje de partos atendidos por personal calificado (enfermeras o matronas)

Porcentaje

$$= \left(\frac{\text{Número total de partos atendidos por enfermeras o matronas}}{\text{Total de nacimientos}} \right) \times 100$$

10. Tasa de mortalidad de menores de 28 días por cada 10 000 nacidos vivos

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones de menores de 28 días}}{\text{Número total de nacidos vivos}} \right) \times 10,000$$

11. Tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares (30 a 70 años) por 10 000 habitantes

Tasa

$$= \left(\frac{\text{Defuncones por enfermedades cardiovasculares (30 a 70 años)}}{\text{Población de 30 a 70 años}} \right) \times 10,000$$

12. Tasa de mortalidad por cáncer (30 a 70 años) por 10 000 habitantes

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones por cáncer (30 a 70 años)}}{\text{Población de 30 a 70 años}} \right) \times 10,000$$

13. Tasa de mortalidad por diabetes (30 a 70 años) por 10 000 habitantes

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones por diabetes (30 a 70 años)}}{\text{Población de 30 a 70 años}} \right) \times 10,000$$

14. Tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas (30 a 70 años) por 100 000 habitantes

Tasa

$$= \left(\frac{\text{Defunciones por enfermedades respiratorias crónicas (30 a 70 años)}}{\text{Población de 30 a 70 años}} \right) \times 10,000$$

15. Porcentaje de mujeres en edad reproductiva que están utilizando métodos modernos de planificación familiar

Porcentaje

$$= \left(\frac{\text{Mujeres que utilizan métodos modernos de planificación familiar}}{\text{Número total de mujeres en edad reproductiva (15 a 49 años)}} \right) \times 100$$

16. Tasa de nacimientos de madres adolescentes (15 a 19 años) por cada 1 000

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Número de nacimientos de madres adolescentes}}{\text{Número total de mujeres de 15 a 19 años}} \right) \times 1,000$$

17. Tasa de mortalidad atribuible a condiciones de salud inseguras (agua, saneamiento, higiene)

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Defunciones atribuibles a condiciones de salud inseguras}}{\text{Población total}} \right) \times 10,000$$

18. Tasa de violencia de pareja (violencia de género) por 100 000 mujeres (15 años o más)

$$\text{Tasa} = \left(\frac{\text{Número de mujeres que sufrieron violencia de pareja}}{\text{Número total de mujeres de 15 años o más}} \right) \times 100\ 000$$

19. Porcentaje de población que utiliza fuentes de agua inseguras o no mejoradas

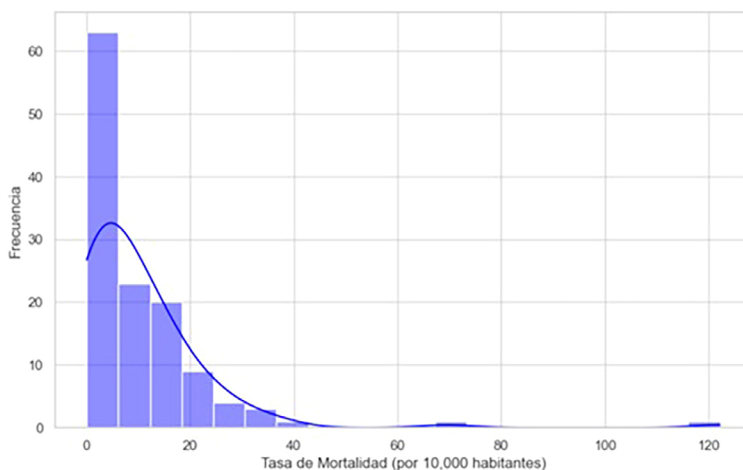
Porcentaje

$$= \left(\frac{\text{Número total de personas que utilizan fuentes de agua inseguras}}{\text{Población total}} \right) \times 100$$

ANÁLISIS DE INDICADORES DE SALUD: DISTRIBUCIONES Y CORRELACIONES

El análisis de los datos relacionados con indicadores de salud permite identificar patrones clave en la mortalidad y el acceso a servicios de salud en diferentes grupos poblacionales. Por ejemplo, el histograma de las tasas de mortalidad en menores de 5 años muestra una concentración en rangos bajos, indicando una posible mejora en las condiciones de salud pública para esta población; sin embargo, los valores atípicos en el extremo superior sugieren áreas con disparidades significativas, por ejemplo, el municipio de Toluca tiene la tasa más alta con un valor de 122.2, seguido de Valle de Bravo con 69.5 y Cuautitlán con 38.3 (ver figura 2).

Figura 2. Distribución de la tasa de mortalidad de menores de 5 años



Fuente: elaboración propia con base en indicadores relacionados con la salud de 2020, elaborado en Python.

En la figura 3 se muestra gráfico de cajas, que comparan las tasas de mortalidad en diferentes grupos de edad, destacando tres categorías principales: TS1, que corresponde a la tasa de mortalidad de menores de 5 años por cada 10 000 habitantes; TS2, que abarca la tasa de mortalidad de niños de 6 a 11 años por cada 100 000 habitantes, y TS3, que incluye la tasa de mortalidad de jóvenes de 12 a 39 años por cada 10 000 habitantes.

En términos generales, las tasas de mortalidad en los tres grupos muestran una concentración en valores bajos, lo que se refleja en medianas bajas en todas las categorías; sin embargo, existen diferencias en la dispersión de los datos. Para el caso de la mortalidad de menores de 5 años la distribución es más amplia, lo que indica una mayor variabilidad en la mortalidad infantil en este grupo de edad; por otro lado, la tasa en niños de 6 a 11 años presenta valores considerablemente más bajos y con menor dispersión, lo que sugiere mayor estabilidad en las tasas de mortalidad de los niños mayores; y en la población de 12 a 39 años también muestra tasas bajas, aunque incluye algunos valores extremos que revelan casos puntuales de alta mortalidad.

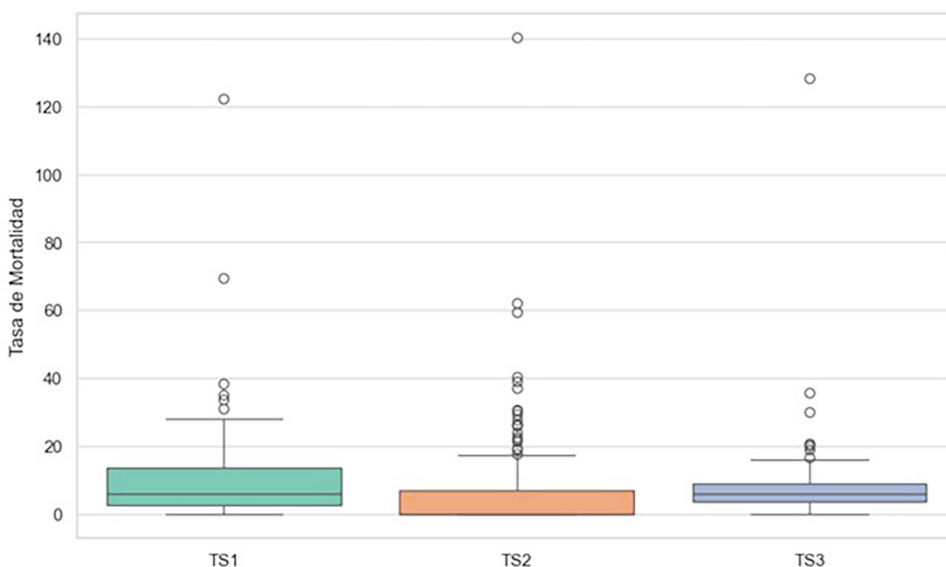
Los valores atípicos detectados en los tres indicadores analizados son particularmente significativos y resaltan la disparidad existente entre los diferentes municipios del Estado de México. En el primer indicador, que mide la tasa de mortalidad de menores de 5 años por cada 10 000 habitantes (TS1), destacan municipios como Toluca, con una tasa de 122.2, seguido por Valle de Bravo con 69.5 y Cuautitlán con 38.3. Estas cifras superan considerablemente el promedio estatal y sugieren la presencia de condiciones críticas en estas regiones.

En el segundo indicador, correspondiente a la tasa de mortalidad de niños de 6 a 11 años por cada 100 000 habitantes (TS2), Toluca nuevamente lidera con un valor extremo de 140.4, le siguen los municipios de Temamatla, con una tasa de 62, y Zacualpan, con 59.5, ambos significativamente por encima del promedio; estas cifras podrían estar relacionadas con una falta de acceso a atención médica adecuada, condiciones socioeconómicas desfavorables o problemas de saneamiento en estas localidades.

Por último, en el tercer indicador, que mide la tasa de mortalidad de jóvenes de 12 a 39 años por cada 10 000 habitantes (TS3), Toluca continúa registrando la cifra más alta, con 128.3; este dato es seguido por Axapusco, que reporta una tasa de 35.7, y Metepec, con 30. Estas cifras reflejan desigualdades que podrían estar en el acceso a servicios de salud, condiciones laborales peligrosas, violencia o problemas relacionados con enfermedades crónicas que afectan a este grupo etario.

Estos valores atípicos son un llamado a un análisis más detallado que correlacione estos datos con factores socioeconómicos, infraestructura de salud y acceso a servicios básicos. En el siguiente gráfico se representa una matriz de correlaciones entre los diversos indicadores utilizados en esta investigación. Esta visualización utiliza una escala de color que va desde tonos rojos, que indican correlaciones positivas fuertes, hasta tonos azules, que reflejan correlaciones negativas. Los valores numéricos dentro de las celdas corresponden al coeficiente de correlación de Pearson, que es una medida que evalúa la fuerza y la dirección de la relación entre las variables, con un rango que oscila entre -1 y 1. El análisis de estas correlaciones está complementado con el Error Absoluto Medio (MAE), que mide el promedio de las desviaciones absolutas entre los valores observados y predichos para cada variable, lo cual facilita la identificación de relaciones clave entre estos indicadores.

Figura 3. Comparación de tasa de mortalidad por grupo de edad

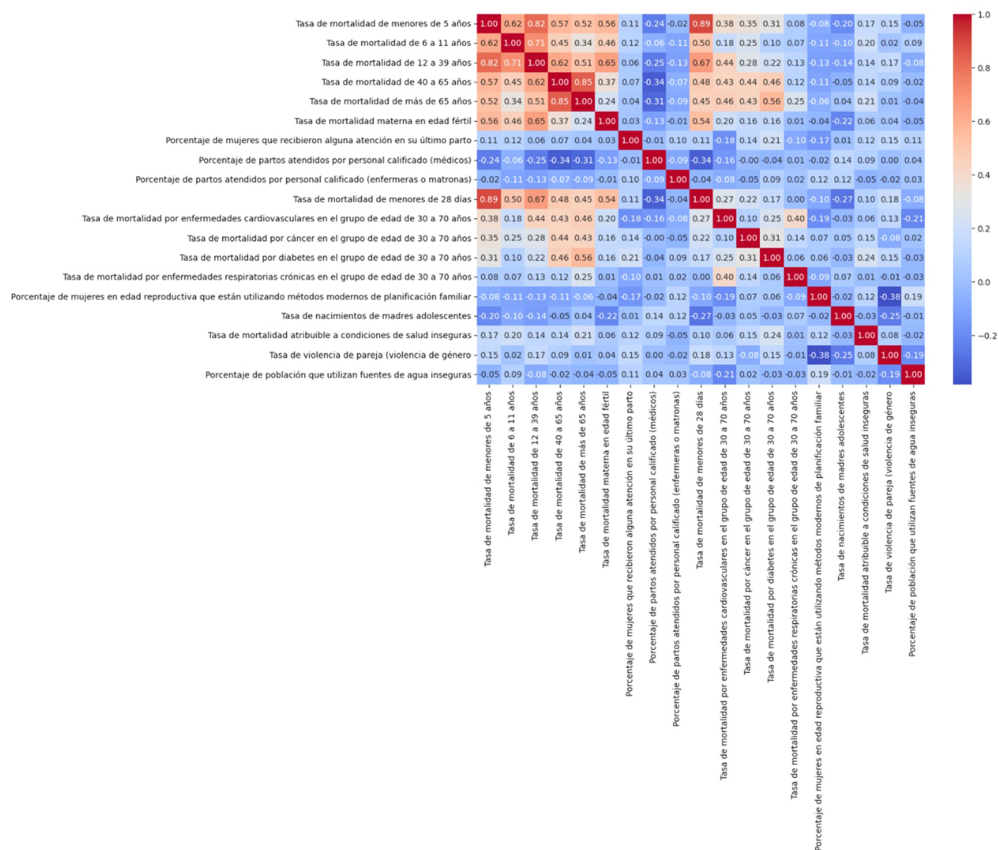


Fuente: elaboración propia con base en indicadores relacionados con la salud de 2020, elaborado en Python.

En la figura 4 se muestra este análisis, que ofrece una perspectiva integral sobre las relaciones entre diversos factores sociales, económicos y sanitarios que influyen en la calidad de vida de la población y que permite identificar correlaciones clave entre las variables; por ejemplo: las tasas de mortalidad infantil y neonatal, como la mortalidad de menores de 5 años (MAE: 8.487) y de menores de 28 días (MAE: 49.479), muestran correlaciones positivas fuertes entre sí, lo que sugiere que las condiciones que afectan a un grupo etario también impactan a otros de manera similar. Estas correlaciones reflejan la influencia de factores como la calidad de los servicios neonatales, la nutrición, la educación materna y el acceso a atención médica oportuna. Por ejemplo, el porcentaje de partos atendidos por personal calificado (MAE: 3.971 para médicos y 0.954 para enfermeras o matronas) tiene correlaciones negativas débiles con las tasas de mortalidad infantil, indicando que un mayor acceso a servicios de salud materno-infantil está asociado con menores tasas de mortalidad en estas poblaciones vulnerables.

En los adultos, las tasas de mortalidad de personas de 40 a 65 años (MAE: 35.954) y mayores de 65 años (MAE: 11.832) tienen correlaciones positivas moderadas con enfermedades crónicas como las cardiovasculares (MAE: 3.520), la diabetes (MAE: 5.674) y las enfermedades respiratorias crónicas (MAE: 8.459). Este patrón evidencia que las enfermedades crónicas no transmisibles son determinantes clave de la mortalidad en estas edades. La variabilidad observada en el MAE sugiere que los factores de riesgo asociados, como el acceso a servicios médicos especializados, la prevención primaria y los estilos de vida poco saludables, varían considerablemente entre las diferentes regiones del Estado de México.

Figura 4. Mapa de calor de correlaciones entre indicadores para el Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en indicadores relacionados con la salud de 2020, elaborado en Python.

Por otro lado, los factores sociales y ambientales también desempeñan un papel fundamental en la salud pública. La tasa de mortalidad atribuible a condiciones de salud inseguras, como la falta de agua potable y saneamiento (MAE: 1.892), muestra correlaciones positivas con las tasas de mortalidad infantil y de menores de 5 años. Esto subraya la necesidad urgente de mejorar la infraestructura básica para prevenir enfermedades infecciosas y reducir la mortalidad. Asimismo, el porcentaje de población que utiliza fuentes de agua no mejoradas (MAE: 3.145) destaca como un indicador de desigualdad estructural que afecta especialmente a las comunidades más desfavorecidas.

La tasa de nacimientos de madres adolescentes (MAE: 24.548) tiene correlaciones positivas con indicadores sociales y de acceso a servicios de salud, lo que refleja la influencia de la educación, la planificación familiar y el contexto socioeconómico en este fenómeno. En contraste, la tasa de violencia de pareja (MAE: 14.310) muestra correlaciones bajas con la mayoría de los indicadores sanitarios, pero su impacto indirecto sobre el bienestar emocional, la calidad de vida y las condiciones sociales sugiere que abordar este problema es esencial para mejorar la salud de las mujeres y sus familias.

ANÁLISIS DE INDICADORES DE SALUD: AGRUPAMIENTO

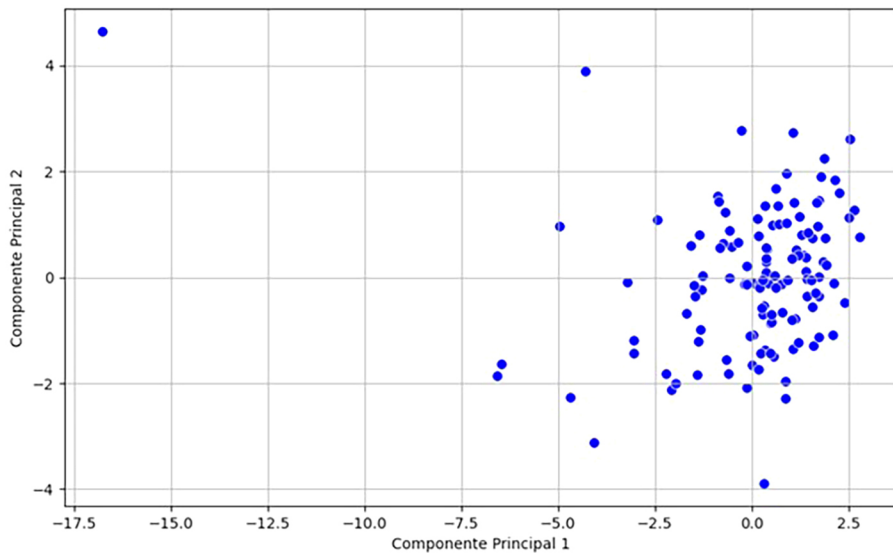
El estudio de los indicadores de salud pública permite identificar desigualdades y patrones que pueden guiar intervenciones políticas y sociales; para el análisis que sigue se emplearon herramientas estadísticas como el Análisis de Componentes Principales (PCA) y el agrupamiento mediante K-Means para categorizar regiones según sus condiciones socioeconómicas y de acceso a servicios. Para ello, los indicadores originales fueron transformados mediante una normalización de 0 a 1, y escalado para garantizar la comparabilidad y reducir sesgos, donde el 0 representa las peores condiciones y el 1, las mejores situaciones; posteriormente, se aplicó PCA para reducir la dimensionalidad y K-Means para identificar patrones de agrupamiento.

El PCA transformó los indicadores originales en dos componentes principales (PC1 y PC2), que explican gran parte de la variabilidad en los datos; estos componentes permiten visualizar y analizar la distribución relativa de los municipios en un espacio

bidimensional. El PC1 representa una combinación ponderada de indicadores positivos y negativos que maximizan la varianza, y el PC2 captura la segunda mayor fuente de variabilidad, independiente de PC1 (Figura 5).

Los municipios mostraron una distribución diversa en el espacio de los componentes principales, los valores altos en PC1 están asociados a mejores condiciones socioeconómicas, mientras que los valores bajos sugieren mayores carencias. Por ejemplo, en el clúster 0 se incluye a municipios como Acambay de Ruíz Castañeda y Acolman, que presentan condiciones moderadas; en el clúster 1 se encuentran municipios urbanos con mejores indicadores en general; en el clúster 2 hay regiones rurales con condiciones adversas, y en el clúster 3 hay más municipios con retos específicos en acceso a servicios.

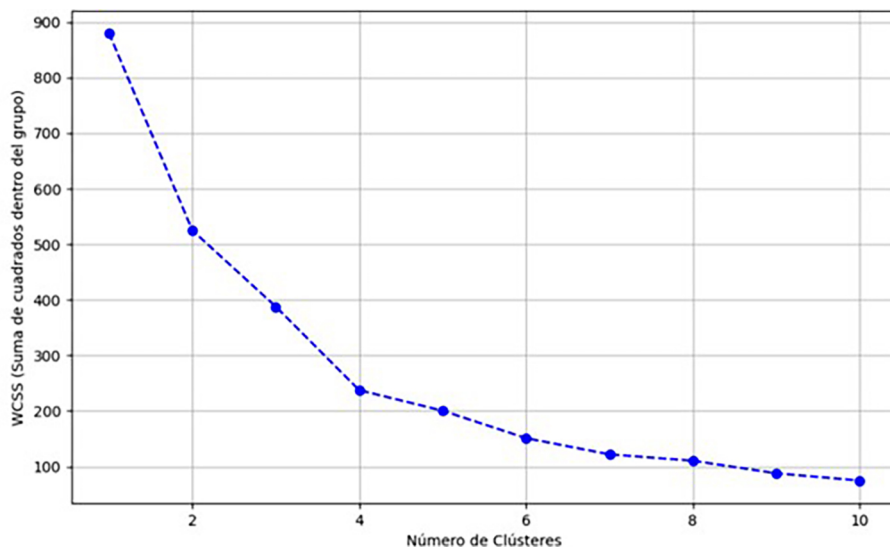
Figura 5. Visualización de los datos en el espacio de los componentes principales



Fuente: elaboración propia con base en indicadores relacionados con la salud de 2020, elaborado en Python.

Posterior a ello, se empleó el método K-Means con cuatro clusters (óptimo según el criterio del codo figura 6); con ello, cada municipio fue asignado a un grupo basado en su posición en el espacio definido por pc1 y pc2. Este agrupamiento permite categorizar las regiones según similitudes socioeconómicas y de salud.

Figura 6. Método del codo para determinar el número óptimo de clústeres



Fuente: elaboración propia con base en indicadores relacionados con la salud de 2020, elaborado en Python.

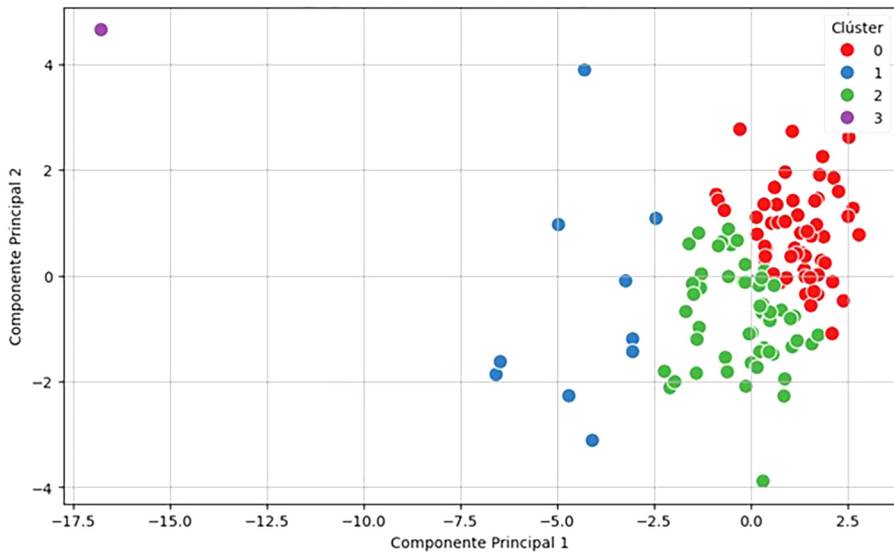
El clúster 2 incluye áreas rurales con menor acceso a infraestructura y servicios de salud; estos municipios presentan altos índices de mortalidad infantil y enfermedades prevenibles, junto con un bajo acceso a agua potable y saneamiento, y la economía local a menudo depende de actividades agrícolas de subsistencia, lo que limita las oportunidades de desarrollo.

Y el clúster 3 destaca por un municipio (Toluca) con necesidades específicas que requieren atención focalizada, que, aunque puede tener buena infraestructura en ciertos aspectos, enfrenta retos significativos en áreas específicas, como una alta desigualdad interna, por lo que estos desequilibrios internos requieren estrategias de intervención más complejas y personalizadas (figura 7).

Por su parte, el clúster 0 representa regiones con una combinación balanceada de fortalezas y debilidades; estos municipios, aunque no destacan en condiciones socioeconómicas superiores, tampoco presentan los niveles más críticos, por lo que este grupo está caracterizado por la presencia de infraestructura moderada y acceso parcial a servicios básicos.

El clúster 1 agrupa municipios con altos índices de desarrollo y acceso a servicios; estas regiones son eminentemente urbanas, con economías diversificadas y niveles educativos altos, por ejemplo, hay municipios que cuentan con hospitales de alta especialidad y un acceso amplio a servicios sanitarios y educativos que, además, tienden a tener una conectividad vial superior.

Figura 7. Agrupamiento K-medias en el espacio PCA



Fuente: elaboración propia con base en indicadores relacionados con la salud de 2020, elaborado en Python.

ANÁLISIS DE INDICADORES DE SALUD: CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE COMPUESTO DE SALUD

En este apartado se presenta el análisis realizado para obtener un único indicador que integra los indicadores previamente evaluados; para ello, se aplica una metodología de evaluación multicriterio basada en la combinación lineal ponderada, apoyada en jerarquías analíticas para determinar el peso asignado a cada indicador. Previamente, los indicadores son normalizados mediante una función lineal, donde un valor de 0 representa las condiciones menos favorables y un valor de 1, las más favorables.

Para determinar los pesos asignados a cada indicador, se utilizó el Método de Jerarquías Analíticas desarrollado por Thomas Saaty. Este enfoque implica agrupar los indicadores en conjuntos temáticos relacionados, como se ilustra en el cuadro 3. Los grupos están identificados por colores similares, los cuales indican su pertenencia a una misma categoría; este procedimiento garantiza que las ponderaciones de los indicadores dentro de cada grupo sumen 1. Asimismo, las ponderaciones asignadas a los grupos (columna “Ponderación por grupos”) también suman 1. El cálculo del peso final para cada indicador se realiza multiplicando su ponderación dentro del grupo por la ponderación asignada al grupo correspondiente, según lo especificado en el cuadro; los resultados se muestran en la figura 8.

Cuadro 3. Ponderaciones finales de los indicadores, mediante Jerarquías analíticas y comparación por pares

<i>Indicadores</i>	<i>Ponderación por grupos</i>	<i>Ponderación dentro de cada grupo</i>	<i>Peso final</i>
Porcentaje de mujeres en edad reproductiva que están utilizando métodos modernos de planificación familiar	0.3121	1	0.3121
Porcentaje de mujeres que recibieron alguna atención en su último parto	0.2223	1	0.2223

Continúa...

<i>Indicadores</i>	<i>Ponderación por grupos</i>	<i>Ponderación dentro de cada grupo</i>	<i>Peso final</i>
Porcentaje de partos atendidos por personal calificado (enfermeras o matronas)	0.1555	0.4	0.0622
Porcentaje de partos atendidos por personal calificado (médicos)		0.6	0.0933
	Peso por grupo:	(0.4 + 0.6) 1	
Porcentaje de población que utiliza fuentes de agua inseguras o no mejoradas (sin agua potable)	0.1075	0.4	0.043
Tasa de mortalidad atribuible a condiciones de salud inseguras, como agua potable limpia, saneamiento y malas prácticas de higiene		0.6	0.0645
	Peso por grupo:	1	
Tasa de mortalidad de 12 a 39 años por 10 000 habitantes	0.0739	0.25	0.018475
Tasa de mortalidad de 40 a 65 años por 10 000 habitantes		0.25	0.018475
Tasa de mortalidad de 6 a 11 años por 100 000 habitantes		0.25	0.018475
Tasa de mortalidad de más de 65 años por cada 1 000 habitantes		0.25	0.018475
	Peso por grupo:	1	

Continúa...

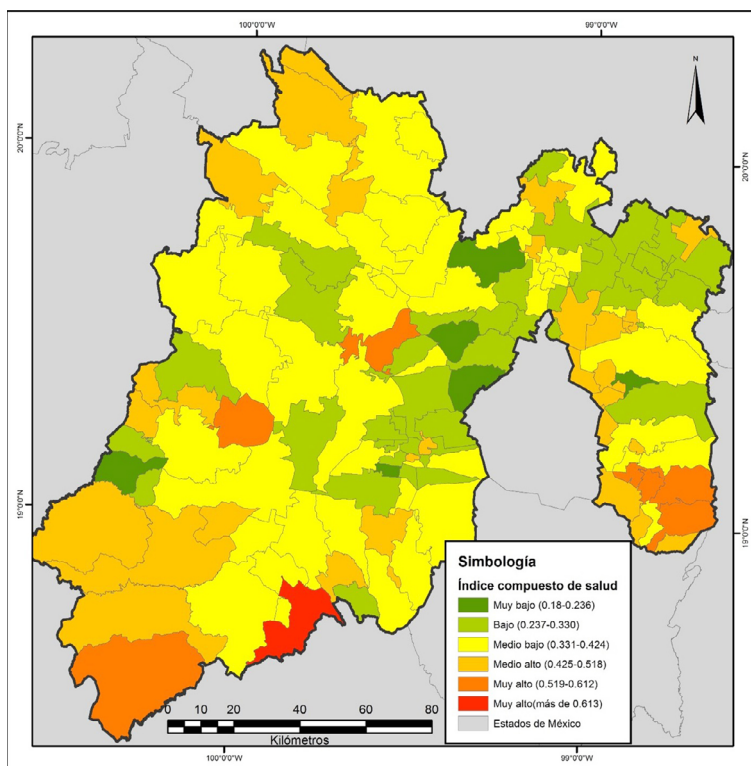
<i>Indicadores</i>	<i>Ponderación por grupos</i>	<i>Ponderación dentro de cada grupo</i>	<i>Peso final</i>
Tasa de mortalidad de menores de 28 días por cada 10 000 nacidos vivos:	0.0507	0.25	0.012675
Tasa de mortalidad de menores de 5 años por 10 000 habitantes		0.4	0.02028
Tasa de mortalidad materna por cada 100 000 mujeres en edad fértil (15 a 49 años)		0.35	0.017745
	Peso por grupo:	1	
Tasa de mortalidad por cáncer en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 10 000 habitantes	0.035	0.25	0.00875
Tasa de mortalidad por diabetes en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 10 000 habitantes		0.25	0.00875
Tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 10 000 habitantes		0.25	0.00875
Tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en el grupo de edad de 30 a 70 años por cada 100 000 habitantes		0.25	0.00875
	Peso por grupo:	1	
Tasa de nacimientos de madres adolescentes (15 a 19 años) por cada 1 000	0.0247	1	0.0247

Continúa...

<i>Indicadores</i>	<i>Ponderación por grupos</i>	<i>Ponderación dentro de cada grupo</i>	<i>Peso final</i>
Tasa de violencia de pareja (violencia de género por cada 100 000 mujeres de 15 años o más)	0.0183	1	0.0183
Suma de ponderaciones	1		1

Fuente: elaboración propia (2024), con base en indicadores relacionados con la salud de 2020, elaborado con el método de Jerarquías analíticas de Saaty.

Figura 8. Índice compuesto de salud del Estado de México, 2020



Fuente: elaboración propia con base en indicadores relacionados con la salud de 2020 en el sistema de coordenadas geográfico con datos del marco geoestadístico de INEGI (2020),

elaborado en Python y ArcGisPro.

Este análisis revela variaciones significativas entre los municipios del Estado de México, lo que refleja diferencias estructurales en aspectos relacionados con la salud pública y el desarrollo socioeconómico. Este nuevo índice, diseñado para integrar múltiples métricas de salud y bienestar, otorga valores más altos a aquellos municipios con mejores condiciones en términos de mortalidad, acceso a servicios básicos, atención médica y condiciones sanitarias. Por ejemplo, el municipio de Zacualpan tiene un valor de 0.652, y se destaca como uno de los municipios con mejores condiciones en términos generales; este resultado sugiere la existencia de un mejor acceso a infraestructura sanitaria, mayor cobertura de servicios médicos y una posible ventaja en términos de apoyo gubernamental y programas comunitarios.

En contraste, municipios con valores más bajos reflejan desafíos estructurales que dificultan la provisión y el acceso a servicios esenciales; las condiciones socioeconómicas, como la ruralidad o la dispersión poblacional, desempeñan un papel crucial en la explicación de estas disparidades. Municipios como Ayapango (0.552) o Amanalco (0.546), aunque con desempeños intermedios, pueden enfrentar limitaciones en términos de infraestructura o personal médico calificado, lo que influye directamente en la efectividad de las intervenciones de salud pública.

Por otro lado, los municipios con un menor índice compuesto tienden a compartir características específicas, como tasas elevadas de mortalidad infantil y materna, menor porcentaje de acceso a agua potable y mayor prevalencia de enfermedades crónicas. Estas dinámicas no sólo evidencian desigualdades en el acceso a servicios básicos, sino también las consecuencias acumulativas de factores como el nivel educativo, la pobreza y la inequidad de género.

En términos prácticos, este indicador no sólo es una herramienta para identificar áreas críticas, sino también una base sólida para priorizar políticas públicas que promuevan un desarrollo equitativo. Por ejemplo, municipios como Tlatlaya (0.568) y Tenango del Aire (0.592), con desempeños cercanos al promedio, podrían beneficiarse significativamente de programas específicos en educación sanitaria, acceso a tecnología médica y fortalecimiento de redes de saneamiento que aborden tanto los determinantes inmediatos como los estructurales de la salud pública.

Por otro lado, también hay municipios con bajo rendimiento; por ejemplo, Chicoloapan (0.1847), Rayón (0.21), Acolman (0.295) y Acambay (0.374) presentaron bajos índices, lo que indica posibles deficiencias en acceso a servicios

médicos o altas tasas de mortalidad.

En este sentido, la variabilidad en los indicadores evidencia las inequidades estructurales entre los municipios del Estado de México, debido a que municipios con menor índice compuesto tienden a compartir características como alta ruralidad, menores ingresos promedio y acceso limitado a infraestructura básica. Por otro lado, factores como la disponibilidad de personal médico calificado, acceso a tecnología sanitaria y programas de prevención de enfermedades crónicas influyen significativamente en los resultados observados. Aunado a ello, los condicionantes sociales de la salud, como la educación, la participación laboral femenina, otros indicadores epidemiológicos y socioeconómicos juegan un papel clave en las disparidades regionales.

CONCLUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

El presente análisis sobre los indicadores de salud pública en los municipios del Estado de México ha permitido identificar patrones clave que evidencian disparidades significativas en la distribución de recursos como la atención en partos, acceso a servicios básicos y condiciones de salud.

La implementación de metodologías de análisis multicriterio para obtener el índice compuesto de salud, aunado a la aplicación del análisis de componentes principales y el agrupamiento mediante K-Means, ha sido fundamental para visibilizar desigualdades estructurales y sus determinantes subyacentes. Estos enfoques no sólo proporcionan una caracterización integral de la situación de salud pública, sino que también ofrecen una base para diseñar intervenciones focalizadas.

Los resultados demuestran que los municipios con mejores desempeños en el índice compuesto, como Zacualpan, destacan por su acceso a infraestructura sanitaria, atención médica calificada y servicios básicos; sin embargo, los municipios con los valores más bajos del índice, como Chicoloapan y Rayón, enfrentan importantes desafíos estructurales, incluyendo altas tasas de mortalidad infantil y materna, insuficiente cobertura de agua potable y saneamiento, así como prevalencia de enfermedades crónicas. Por lo tanto, estas disparidades reflejan la interacción compleja entre factores económicos, sociales y ambientales que condicionan la

salud pública.

Asimismo, las correlaciones entre los diferentes indicadores permiten observar cómo las condiciones sociales y económicas impactan directamente en la salud de la población. Por ejemplo, la relación entre las tasas de mortalidad infantil y neonatal y la cobertura de servicios de salud maternal puntualiza la necesidad de fortalecer las políticas públicas orientadas a la salud materno infantil. De igual manera, las enfermedades crónicas como la diabetes y las cardiovasculares presentan una asociación con las tasas de mortalidad en adultos mayores, evidenciando la urgencia de reforzar los programas de prevención primaria y control de enfermedades no transmisibles.

Desde la perspectiva de sostenibilidad, las condiciones ambientales, como la falta de acceso a agua potable segura y el saneamiento adecuado, tienen un impacto directo en los indicadores de salud; estos hallazgos resaltan la necesidad de adoptar estrategias integrales que aborden tanto los condicionantes intermedios de la salud como los factores estructurales relacionados con el acceso a infraestructura básica y educación sanitaria.

En términos prácticos, las políticas públicas deben priorizar los municipios con menor desempeño, diseñando intervenciones que combinen acciones a corto plazo, como la mejora de la cobertura de servicios médicos, con estrategias a largo plazo orientadas al fortalecimiento de las capacidades locales; además, los programas de salud pública deben considerar los condicionantes sociales de la salud, como el nivel educativo, la equidad de género y las condiciones económicas, como elementos significativos para reducir las brechas existentes.

Finalmente, este estudio demuestra la importancia de contar con indicadores de salud confiables y metodologías robustas que permitan un análisis integral del contexto local. Asimismo, subraya la necesidad de utilizar enfoques integrales que consideren las características específicas de cada municipio para reducir las brechas de salud en el Estado de México y avanzar hacia un desarrollo más equitativo, por lo que estos resultados no sólo aportan una visión detallada del panorama actual en el Estado de México, sino que también destacan áreas de oportunidad para avanzar en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible; de esta forma, es imprescindible reforzar la recolección y el análisis de datos desagregados a nivel municipal y a otros niveles de mayor desagregación más puntuales, así como promover una mayor integración intersectorial en la planificación y ejecución de

políticas de salud.

REFERENCIAS

- Asma S., Lozano R., Chatterji S., et al. (2020). Monitoring the health-related Sustainable Development Goals: lessons learned and recommendations for improved measurement. *Lancet*. 395(10219), 240-246. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32523-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32523-1)
- Asociación Mexicana de Diabetes. (2020). *Informe anual sobre la diabetes en México*. Asociación Mexicana de Diabetes.
- Buzai, G. D., y Santana Juárez, M. V. (2018). *Condicionantes socioespaciales de la salud (CSS): Bases y alcance conceptual*. Anuario de la División Geografía, 2018. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/626>
- Capello, M., Shaughnessy, A. & Caslin, E. (2021). The Geophysical Sustainability Atlas: Mapping geophysics to the UN Sustainable Development Goals. *The Leading Edge*, 40(1), 10-24. <https://doi.org/10.1190/tle40010010.1>
- Columbia Center on Sustainable Investment (CCSI), UN Sustainable Development Solutions Network (sdn), United Nations Development Programme (UNDP). (2016). *Mapping Mining to the Sustainable Empowered lives. Resilient nations. Development Goals: An Atlas*. Recuperado el 07 de agosto de 2022 de <https://resources.unsdn.org/mapping-mining-to-the-sustainable-development-goals-an-atlas>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2020). *Medición de la pobreza en México y en las entidades federativas*. Ciudad de México. Coneval.
- Dahlgren, G. & Whitehead, M. (1991). *Policies and strategies to promote social equity in health*. Institute for Future Studies.
- Dirección General de Evaluación del Desempeño. (2013). *Manual de indicadores para evaluación de servicios hospitalarios*. Secretaría de Salud. https://www.dged.salud.gob.mx/contenidos/dess/ind_hospitalarios.html
- Dirección General de Información en Salud. (s.f.). Mortalidad - Definiciones. Secretaría de Salud. <https://www.dgis.salud.gob.mx/descargas/pdf/mortdef.pdf>
- Gobierno de México e Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://agenda2030.mx/#/home>
- Gutiérrez, J. P., Agudelo-Botero, M., Garcia-Saiso, S. et al. (2020). Advances and challenges on the path toward the SDGs: subnational inequalities in Mexico, 1990-2017. *BMJ global health*, 5(e002382), 1-21. <https://doi.org/10.1136/>

bmjgh-2020-002382

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2021). *Informe de la calidad del aire en México*. INECC.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Anuario estadístico y geográfico de los municipios de México*. <https://www.inegi.org.mx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s/f). *Métodos de cálculo de indicadores estatales: Salud*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/estatal/doc/6200240468.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (s/f). *Sistema estándar de indicadores básicos en salud*. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/IBS_001.PDF
- Novillo-Ortiz, D., Saigi-Rubió, F. & Martínez-Pérez, B. (2021). The role of digital health in supporting the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). *Journal of Public Health Policy*, 42(2), 259-270. <https://doi.org/10.1057/s41271-020-00270-x>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Do you know all 17 SDGs?* <https://sdgs.un.org/goals#history>
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). *Goal 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>
- Organización Mundial de la Salud. (1948). *Constitución de la Organización Mundial de la Salud*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Ambiental y salud: Hacia un enfoque integrado*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Health in 2030: Agenda for sustainable development*. <https://www.who.int>
- Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible. (2020). *Atlas municipal de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bolivia 2020*. <https://atlas.sdsnbolivia.org/#/>
- Saavedra Figueroa, P. G. (2016). *Indicadores de nivel de salud: Cálculo e interpretación*. Universidad de Chile. <https://sintesis.med.uchile.cl/condiciones-clinicas/salud-publica/salud-publica-situaciones-clinicas/12736-indicadores-de-nivel-de-salud-calculo-e-interpretacion>
- SDG Collaborators. (2016). *Measuring progress and projecting attainment on the basis of past*

- trends of the health-related Sustainable Development Goals in 188 countries: An analysis from the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet*, 390(10100), 1423-1459. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32336-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32336-X)
- Urbina-Fuentes, M., Jasso-Gutiérrez, L., Schiavon-Ermani, R. et al. (2017). Transition from Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals from the perspective of the social determinants of health and health equity. *Gaceta Médica de México*. 153(6), 697-730. DOI: 10.24875/gmm.m17000017. PMID: 29206829
- Wilson, L., Rhew, D. & Villarreal, G. (2021). Inequities in health and healthcare across the Sustainable Development Goals. *The Lancet Global Health*, 9(3), e283-e284. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30586-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30586-4)
- Wilkinson, R., & Marmot, M. (2003). *Social determinants of health: The solid facts*. OMS.

Marcela Virginia Santana Juárez

Doctora en Geografía por la UNAM. Líder del Cuerpo Académico Consolidado: Geografía, Ordenación y Gestión sustentable del Territorio. Docente en licenciatura y posgrado. Ha publicado artículos, capítulos de libro y libros. Miembro del SNII, nivel I. Perfil PRODEP. Recibió la medalla Benito Juárez por la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, Nota Laudatoria UAEMEX, Presea al Mérito Geográfico “Dr. Delfino Madrigal Uribe” y Medalla Jerzy Kondracki por la Universidad de Varsovia.

Salvador Adame Martínez

Doctor en Ciencias por el Colegio de Postgraduados. Profesor-Investigador de tiempo completo en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Planeación Territorial (CEPLAT) de la Facultad de Planeación Urbana y Regional (FAPUR), UAEMEX. Miembro del SNII. Perfil Prodep. Líneas de investigación: Sustentabilidad urbana, riesgo y vulnerabilidad, y Variabilidad climática. Ha publicado artículos y capítulos de libros. Miembro de la Red Internacional “Territorios, sustentabilidad y gobernanza en México y Polonia” de la UAEMEX, y de la “Red de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos” del CONAHCYT.

Giovanna Santana Castañeda

Doctora en Geografía por la UNAM. Integrante del SNII, nivel C. Perfil PRODEP. Líneas de investigación: Geografía cuantitativa, Modelos espaciales, Análisis espacial, Geografía de la salud, Evaluación multicriterio, Sistemas de información Geográfica, Cartografía automatizada, Geografía social y Geografía urbana. Ha publicado artículos, capítulos de libro y libros.

Lidia Alejandra González Becerril

Maestra en Geografía por la UNAM. Integrante del Cuerpo Académico en Consolidación: Geoinformática y Ciencia de Datos Geoespaciales y de la Red Internacional de GEOLIBERRO. Ha publicado artículos y capítulos de libro. Obtuvo la Nota Laudatoria, Reconocimiento a profesores de Tiempo Completo con perfil deseable, Reconocimiento a la Labor Sindical FAAPUAEM y Reconocimiento como Profesora de Tiempo Completo con perfil deseable. Actualmente, es directora de la Facultad de Geografía.

Isidro Rogel Fajardo

Doctor en Humanidades por la UAEMEX. Profesor de Tiempo Completo, adscrito al CEPLAT. Recibió la Nota Laudatoria. Formó parte del H. Consejo de Gobierno y del H. Consejo Universitario como representante propietario de los profesores de la FAPUR. Intervino en procesos de reacreditación de los programas académicos de la FAPUR ante la ANPADEH y el CACEB, donde forma parte del equipo nacional de evaluadores. Colaborador en el proyecto de investigación “Dimensión social y de seguridad del espacio público en el Centro Histórico del municipio de Toluca”. Fue director de la FAPUR.

Esta obra presenta una serie de trabajos de investigación en los que se analiza la compleja relación entre la gobernanza, los riesgos ambientales y el cambio climático, los cuales son un reto para la sociedad actual, ya que influyen en el desarrollo sostenible.

Este libro no sólo ofrece un estudio importante relacionado con los desafíos actuales, como el cambio climático, también presenta un marco conceptual y metodológico aplicado a futuras investigaciones, así como un reporte de saberes locales y experiencias comunitarias.



Secretaría de
Identidad y Cultura