

Aplicaciones emergentes de las **Tecnologías de la Información Geográfica** ante los retos territoriales



Coordinadores

Noel Bonfilio Pineda Jaimes
Renata Juilliani Ruiz Gutiérrez
Giovanna Santana Castañeda
Marcela Virginia Santana Juárez

Aplicaciones emergentes de las Tecnologías de la Información Geográfica ante los retos territoriales

Noel Bonfilio Pineda Jaimes
Renata Juilliani Ruiz Gutiérrez
Giovanna Santana Castañeda
Marcela Virginia Santana Juárez
(Coordinadores)

2026

Sociedad Hijos de Calimaya, A.C.

Registro Federal de las Organizaciones de la Sociedad Civil. Clave Única de Inscripción (CLUNI): HCA1305271501E

SECIHTI-Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas: 1900693

Uso libre de banco de imágenes

Imagen de portada y contra portada

José Trinidad Solares Hernández

Diseño de portada y contra portada

Gisela Arriaga Romero y Juan Fernando Becerril Hernández

Corrección de estilo

Armando Arriaga Rivera

Diseño, producción editorial y formación

D.R. © Sociedad Hijos de Calimaya A. C., Calimaya de Díaz González, Calimaya, Estado de México.

Primera edición: julio de 2026

ISBN: 978-607-26949-5-8 (digital)

Aplicaciones emergentes de las Tecnologías de la Información Geográfica ante los retos territoriales

Noel Bonfilio Pineda Jaimes

Renata Juilliani Ruiz Gutiérrez

Giovanna Santana Castañeda

Marcela Virginia Santana Juárez

(Coordinadores)

Las opiniones y puntos de vista expresados en la presente obra son responsabilidad única y exclusiva de los autores y no necesariamente representan las opiniones o posiciones de la editorial, y las de sus integrantes.

Esta obra ha sido evaluada por pares académicos ciegos. Esta publicación no podrá ser reproducida total o parcialmente, incluyendo el diseño de portada; tampoco podrá ser transmitida ni utilizada de ninguna manera por algún medio, ya sea electrónico, mecánico, electromecánico o de otro tipo sin autorización por escrito de los autores o editores.

Impreso y hecho en México.

Contenido

Introducción	7
Capítulo 1	13
<i>Capítulo 1. Aplicación de técnicas de evaluación multicriterio borrosas en un entorno SIG. Análisis de resultados y evaluación de la utilización de diferentes métodos de desfucificación</i>	
<i>Eduardo Sanz Blasco, Montserrat Gómez Delgado y Julia Clemente Párraga</i>	
Capítulo 2	31
<i>Marco teórico y metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad climática mediante lógica difusa y SIG a escala de cuencas en Colombia</i>	
<i>David Alejandro Muñoz, José Emilio Baró Suárez, Elkin de Jesús Salcedo Hurtado y Adriana Martínez Arias</i>	
Capítulo 3	51
<i>Capítulo 3. Morfología Territorial del Valle de Sula, Honduras</i>	
<i>Celina Michelle Sosa Caballero</i>	
Capítulo 4	69
<i>Las neogeotecnologías en la formación del geógrafo: Transformación del aprendizaje en el Perú</i>	
<i>Luz Alexandra Javier Silva, Karol Wendy Medina Luque y Miguel Humberto Núñez Saire</i>	
Capítulo 5	89
<i>Las unidades de paisaje en la evaluación del potencial turístico en el Área Natural Protegida Laguna de Mecoacán</i>	
<i>Sandibell Aquino López, José Francisco Juárez López, Ángel Adiel Martínez Rodríguez, José Jesús Obrador Olan y Leticia Ortiz Salas</i>	

Capítulo 6 109

Análisis espacio – temporal de los cambios de uso de suelo en la ciudad de Acapulco 1985- 2020

Edder Agustín Barrera Castillo, Salvador Villerías Salinas, Iliana Villerías Alarcón y Agustín Carlos Salgado Galarza

Capítulo 7 127

Diagnóstico de amenazas geológicas. Caso de estudio: caminos y carreteras del Sur del Estado de México

Alexis Ordaz Hernández, Juan Carlos Garatachía Ramírez, Miguel Eduardo García Reyna, Daniel Fernando Gómez Benítez y José Luis Expósito Castillo

Capítulo 8 145

Identificación de los clústeres espaciales auspiciados por las FIBRAS en la ZMVM mediante el uso de CrimeStat Spatial Statistics

Enrique de Jesús Castro Martínez

Capítulo 9 161

La inteligencia artificial generativa y los SIG y su impacto en los estudiantes universitarios: diagnóstico participativo con estudiantes de la licenciatura en geología ambiental y recursos hídricos, facultad de geografía de la UAEMéx.

Agustín Olmos Cruz y Fernando Carreto Bernal

Capítulo 10 175

Guía interactiva: rutas y sabores. propuesta de proyecto colaborativo basado en SIG para entornos virtuales de aprendizaje

Iván García Hinojosa

Capítulo 11	197
-------------	-----

Patrones espaciales de suicidios en México entre 2018 y 2023

Christian Sánchez Carrillo, Giovanna Santana Castañeda y María del Carmen Gardenia Jiménez Velázquez y Noel Bonfilio Pineda Jaimes

Reflexiones finales	213
---------------------	-----

Introducción

La aplicación de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en los estudios geográficos se han incrementado exponencialmente en la última década y manifestado en diversos campos de la Geografía. Si bien, a finales de los años ochenta, cuando se impulsaron las primeras aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en América Latina, su implementación y enseñanza fueron motivo de debate y reflexiones teórico-metodológicas para las instituciones de educación superior (donde se imparten las carreras de Geografía) se volvió obligatorio utilizar y enseñar las bondades de esta tecnología. En la actualidad, se entiende y comprende que los SIG tienen un componente técnico a partir de lo que tradicionalmente se ha conocido como *GISystem* y un componente teórico multidisciplinario orientado a la *GIScience*. Esto ha generado amplias reflexiones en torno a la relación entre la Geografía y los SIG al considerarse el núcleo de este conocimiento principalmente geográfico.

Por otro lado, las TIG, se integran básicamente, además de los SIG por la Teledetección, la Fotogrametría y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS/GNSS). Estas geotecnologías permiten generar, procesar y representar información georreferenciada, facilitando un análisis multidimensional que supera la simple elaboración de mapas para convertirse en una infraestructura tecnológica crítica en la toma de decisiones estratégicas. Así, el uso de las TIG se ha vuelto fundamental para abordar la complejidad de los retos territoriales contemporáneos, permitiendo pasar de la simple visualización a un análisis crítico y predictivo del espacio. De igual manera, se han consolidado como herramientas estratégicas fundamentales para el análisis, la planificación y gestión de la complejidad territorial contemporánea. Su relevancia radica en permitir trascender la visualización cartográfica y convertirse en plataformas críticas de apoyo para la toma de decisiones en sectores tan diversos como la gestión de riesgos, el medio ambiente, la salud pública y la economía.

Esta obra colectiva titulada “Aplicaciones Emergentes de las Tecnologías de la Información Geográfica ante los Retos Territoriales” articula una serie de investigaciones que demuestran la versatilidad de estas geotecnologías para abordar problemáticas complejas desde dimensiones metodológicas, ambientales, sociales y educativas.

El libro consta de once capítulos, los cuales se derivan de trabajos presentados en la XIX Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, realizada del 9 al 13 de junio del 2025, en la ciudad de Toluca, México

y organizada por la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Los capítulos son representativos de los ejes temáticos del evento: observación de la tierra y tendencias en el sector aeroespacial, análisis y modelación espacial con SIG, resiliencia territorial y cambio climático, inteligencia geoespacial y ciencia de datos, geografía aplicada y recursos naturales, formación y enseñanza geotecnológica:

- El capítulo primero, denominado “Aplicación de técnicas de evaluación multicriterio borrosas en un entorno SIG. Análisis de resultados y evaluación de la utilización de diferentes métodos de defuzzificación”, Eduardo Sanz-Blasco, Montserrat Gómez-Delgado y Julia Clemente Párraga, implementan de manera integral la lógica borrosa utilizando SIG y la Evaluación Multicriterio (EMC). Su contribución fundamental es la ejecución de un proceso de Sumatoria Lineal Ponderada Espacial Borrosa (SLPEB) que mantiene el formalismo de los números borrosos desde la normalización hasta la evaluación de alternativas. A diferencia de los métodos tradicionales que defuzzifican las etapas intermedias; este modelo preserva la incertidumbre lingüística hasta la fase final, permitiendo una comparación estadística de métodos de defuzzificación para determinar la robustez de las decisiones territoriales.
- El capítulo segundo, David Alejandro Muñoz, José Emilio Baró Suárez, Elkin de Jesús Salcedo Hurtado y Adriana Martínez-Arias, proponen en el capítulo cuarto un índice de Vulnerabilidad Climática Difuso, a través de un marco metodológico para evaluar la vulnerabilidad climática en cuencas hidrográficas colombianas mediante lógica difusa. La novedad técnica radica en el diseño de un índice que modela procesos socioambientales no lineales, representando la vulnerabilidad como un gradiente continuo en lugar de categorías discretas; esto optimiza la gestión de la incertidumbre inherente a los datos hidroclimáticos y sociales.
- En el capítulo tercero, Celina Michelle Sosa Caballer realiza una caracterización morfoestructural del Valle de Sula en Honduras, utilizó Sistemas de Información Geográfica (SIG) para procesar datos del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de la NASA. Construyó perfiles topográficos transversales, el estudio valida la morfología en “U” del valle. Su aporte más significativo es la definición técnica del valle como un graben estructural de la depresión transversal, condicionado por un control tectónico que rige la dinámica deposicional de los ríos Ulúa y Chamelecón, superando la visión de una simple incisión fluvial.

- El capítulo cuarto, “Las neogeotecnologías en la formación del geógrafo: transformación del aprendizaje en el Perú”, que presentan Luz Alexandra Javier Silva, Karol Wendy Medina Luque y Miguel Humberto Núñez Saire. En esta investigación se realiza el primer análisis sistemático sobre el impacto de herramientas como *Web GIS*, *Geo AI* y programación aplicada (*Python/R*) en la geografía peruana. El trabajo muestra como la evaluación de estas neogeotecnologías han redefinido las competencias técnicas y la empleabilidad de los egresados, identificando la brecha entre la innovación técnica y las barreras estructurales institucionales que persisten en el Perú.
- En el capítulo quinto titulado “Las unidades de paisaje en la evaluación del potencial turístico en el Área Natural Protegida Laguna de Mecoacán” presentado por Sandibell Aquino López, José Francisco Juárez-López, Ángel Adiel Martínez Rodríguez, José Jesús Obrador Olan y Leticia Ortiz Salas, se realiza una investigación donde se aplica una metodología de delimitación de Unidades de Paisaje (UP) a escala 1:10,000 en el Parque Estatal Laguna de Mecoacán. La contribución más innovadora es la integración de la cartografía técnica con el mapeo participativo comunitario, lo que permitió valorar recursos naturales y culturales bajo un enfoque sistémico, identificando 13 actividades de turismo alternativo con viabilidad de implementación local.
- En el sexto capítulo, Edder Agustín Barrera Castillo, Salvador Villerías Salinas, Iliana Villerías Alarcón y Agustín Carlos Salgado Galarza, analizan y cuantifican la dinámica de cambio de uso de suelo en Acapulco; para ello utilizaron imágenes de los sensores Landsat 4 y 9 de los años 1985 y 2021. El aporte principal de su trabajo es la aplicación de una matriz de tabulación cruzada para detectar transiciones categóricas, revelando un incremento neto positivo en la “Vegetación Primaria” concentrado en áreas de conservación, contrastando con la degradación severa de la “Vegetación Secundaria”, lo que aporta datos críticos para la modelación de escenarios de planificación sostenible.
- En cuanto al capítulo séptimo, los autores Alexis Ordaz Hernández, Juan Carlos Garatachía Ramírez, Miguel Eduardo García Reyna, Daniel Fernando Gómez Benítez y José Luis Expósito Castillo, realizan un diagnóstico de amenazas geológicas. El estudio aborda procesos de remoción en masa que afectan los caminos y carreteras de algunos municipios del sur del Estado de México, se utilizaron vehículos aéreos no tripulados (RPAS) e interferometría diferencial de radar (DInSAR). Su mayor contribución es la detección de deformaciones nega-

tivas del terreno para diagnosticar fenómenos de erosión subterránea (sufusión), proporcionando una base técnica para el diseño de medidas de estabilización y mitigación de riesgos en infraestructuras viales.

- El octavo capítulo que presenta Enrique de Jesús Castro Martínez analiza el comportamiento de los Fideicomisos de Inversión en Bienes Raíces (FIBRAs) en la Zona Metropolitana del Valle de México, utilizando métodos geoestadísticos avanzados. La contribución técnica central es la aplicación de *CrimeStat Spatial Statistics* (*K-means*, Elipses de Desviación Estándar y Densidad de *Kernel*) para identificar seis clústeres espaciales diferenciados, cartografiando por primera vez la “huella” del capital financiero y su lógica de acumulación desigual en el mercado inmobiliario metropolitano.
- El noveno capítulo, Agustín Olmos Cruz y Fernando Carreto Bernal, presentan un diagnóstico participativo sobre el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en estudiantes de la Licenciatura Geología Ambiental de la Facultad de Geografía de la UAEMex. La contribución científica más disruptiva es la vinculación del uso de la IAG con determinantes territoriales, demostrando que los estudiantes la utilizan como un recurso adaptativo pragmático frente al cansancio crónico y la privación de sueño derivados de los prolongados tiempos de traslado en la periferia urbana; de igual manera se logra contextualizar las realidades territoriales y sociodemográficas de los encuestados permitiendo una visión integral entre el espacio vivido y la innovación digital.
- En el décimo capítulo Iván García Hinojosa propone un proyecto colaborativo de guía interactiva de rutas y sabores integrando tecnologías digitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente *Google Maps®*. El autor visualiza una estrategia metodológica basada en SIG para la enseñanza de la gastronomía. Su aporte más original es la transición de itinerarios tradicionales a modelos territoriales interactivos y colaborativos mediante *Google Maps®*, permitiendo la manipulación cartográfica de información espacial para el diseño de productos turísticos sostenibles y el desarrollo de competencias digitales profesionales.
- Finalmente, en el capítulo décimo primero denominado “Patrones espaciales de suicidios en México entre 2018 y 2023”, Christian Sánchez Carrillo, Giovanna Santana Castañeda, María del Carmen Gardenia Jiménez Velázquez y Noel Bonfilio Pineda Jaimes, utilizan el Índice

de Moran Local (LISA), para analizar la autocorrelación espacial del suicidio en México (2018-2023). La contribución más novedosa es la identificación de clústeres “Alto-Alto” estadísticamente significativos y persistentes en el norte y noroeste (Sonora, Chihuahua, Durango), demostrando una distribución espacial no aleatoria del fenómeno que permite la focalización de intervenciones de salud pública basadas en el territorio.

En conclusión, esta obra se pone de manifiesto que las aplicaciones emergentes de las Tecnologías de la Información Geográfica han dejado de ser sólo herramientas de mapeo para convertirse en plataformas dinámicas e indispensables frente a los complejos desafíos socioambientales que transforman nuestro territorio. La integración de la inteligencia geoespacial, el procesamiento de datos a gran escala y la modelación en tiempo real ofrecen una ventana crítica no solo para evaluar con precisión cuantitativa los impactos de los proyectos de infraestructura y los cambios en el uso del suelo, sino también para anticipar escenarios de vulnerabilidad climática en regiones de alta biodiversidad. Así, el verdadero valor de estas innovaciones radica en su capacidad para traducir datos espaciales complejos en diagnósticos claros y accesibles, tendiendo un puente vital entre la investigación científica y el diseño de políticas públicas que aseguren una gestión territorial justa, resiliente y genuinamente sostenible.

NOEL BONFILIO PINEDA JAIMES
RENATA JUILLIANI RUIZ GUTIÉRREZ
GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA
MARCELA VIRGINIA SANTANA JUÁREZ
COORDINADORES

Capítulo 1. Aplicación de técnicas de evaluación multicriterio borrosas en un entorno SIG. Análisis de resultados y evaluación de la utilización de diferentes métodos de desfucificación

EDUARDO SANZ-BLASCO ¹

MONTSERRAT GÓMEZ-DELGADO ²

JULIA CLEMENTE-PÁRRAGA ³

Introducción

El uso de los SIG y las técnicas de EMC lleva décadas demostrando que son la combinación perfecta en la resolución de problemas espaciales complejos relacionados con la planificación territorial, el urbanismo o la gestión de medio ambiente y los recursos naturales de manera satisfactoria y fácilmente comprensible (Rodríguez-Espinosa *et al.*, 2020; Zarin *et al.*, 2021). Sin embargo, es sabido que es sencillo incluir los modelos generados a partir de estas técnicas, las características relacionadas con las decisiones humanas pueden generar incertidumbre y subjetividad en la toma de decisiones, teniendo limitaciones para abordar la complejidad subyacente en estos procesos.

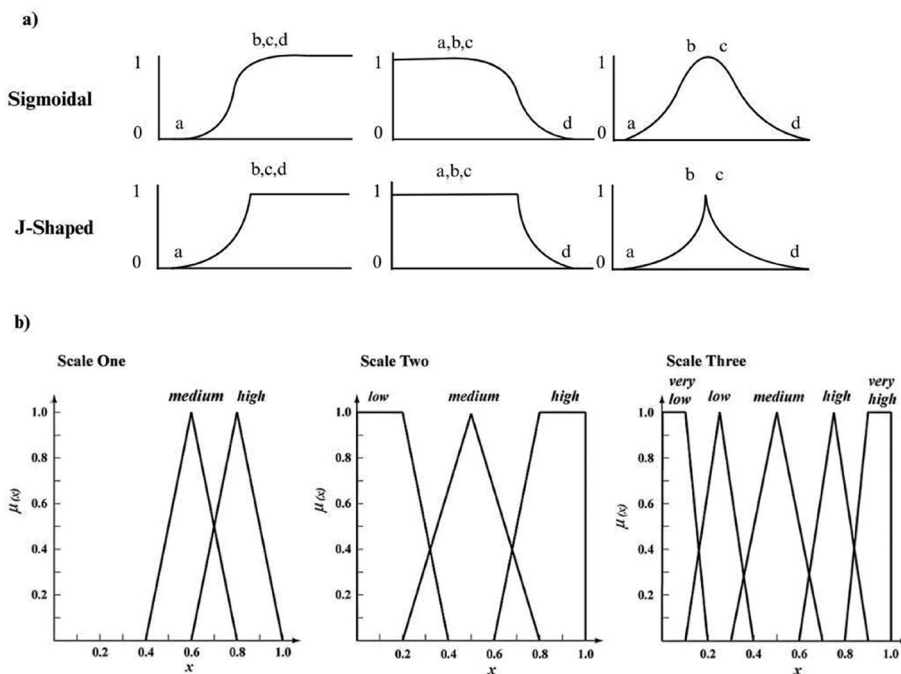
-
- 1 Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Unidad Docente de Geografía. Universidad de Alcalá. España.
 - 2 Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Unidad Docente de Geografía. Universidad de Alcalá. España.
 - 3 Departamento de Automática, Universidad de Alcalá. España.

En este sentido, la utilización de la lógica borrosa se ha convertido en una opción bastante aceptada para abordar esta incertidumbre y representar de manera realista las decisiones humanas (Akbari *et al.*, 2019; Goswami *et al.*, 2022). Esta forma de tratar la incertidumbre, reconoce estados de transición o ambigüedades que pueden existir en el establecimiento de la pertenencia de un elemento a un conjunto que no tiene límites nítidos (bien definidos) permitiendo aumentar la confianza en el proceso decisorio (Chen *et al.*, 2011; Zarin *et al.*, 2021). Sin embargo, dadas las dificultades de la representación de grandes conjuntos de elementos espaciales en estos términos, han sido habituales hasta ahora, pues encontrar trabajos y propuestas en la toma de decisiones no espacial; las alternativas suelen ser un número restringido que permite de una manera más sencilla y cómoda su aplicación.

La utilización de la teoría de los conjuntos borrosos propuesta por L.A. Zadeh (Zadeh, 1965) ha sido aplicada de manera parcial en la aplicación espacial de las técnicas de EMC en un entorno SIG. En la mayoría de los casos, las opciones se limitan a utilizar funciones de pertenencia borrosa del tipo Sigmoidal, J-Shaped, simétrica, etc. para normalizar los distintos factores, siendo después aplicados al resto del proceso (ponderación, evaluación de las alternativas) ya con números crisp o rígidos que devuelven estas mismas herramientas de normalización.

Sin embargo, una manera de reproducir de forma más realista la manera en que los humanos tomamos decisiones se realiza a partir de funciones lingüísticas (Figura 1). Este tipo de funciones han demostrado ser la mejor alternativa para trasladar expresiones naturales de conocimiento y sentido común, basadas en el lenguaje, en un formalismo matemático preciso. Sin bien estas funciones pueden ser utilizadas en varias fases de aplicación de la EMC como la normalización de los factores, la ponderación de los criterios y la evaluación final de las alternativas (Anagnostopoulos y Vavatsikos, 2012; Feizizadeh *et al.*, 2014; Önden *et al.*, 2024; Prapanchan *et al.*, 2024); no encontramos trabajos en los que se aplique de manera completa y mucho menos en una aplicación explícitamente espacial del entorno SIG, básicamente por la dificultad que implica el manejo de las numerosas imágenes que han de generarse. Así, hasta el momento no es posible ni viable poder realizar operaciones con este tipo de elementos espaciales en un SIG convencional ya que resulta costosa su implementación desde el punto de vista computacional, por lo que solo encontramos aplicaciones parciales en las que los valores borrosos (por ejemplo, pesos otorgados a los factores) se convierten en números rígidos mediante algún método de desfucificación antes de realizar ninguna operación posterior en el SIG.

Figura 1. a) Funciones de pertenencia borrosa continuas y b) Funciones de pertenencia borrosa lingüísticas



Fuente: elaboración propia.

No obstante, gracias a los avances computacionales, hemos logrado reproducir con éxito este proceso; aplicando y manejando este tipo de funciones de pertenencia borrosa en el tratamiento de los distintos factores, como en el proceso de ponderación de los mismos y en la evaluación de las alternativas, sin convertir los valores borrosos así estudiados a números rígidos al final del proceso (Sanz-Blasco *et al.*, 2025).

En este trabajo pretendemos realizar un análisis y reflexión sobre la importancia de (una vez obtenidos los resultados) aplicar un método de desfujificación para obtener valores de adecuación final “rígidos” y únicos para cada alternativa. Para ello, se comparan cuatro métodos de desfujificación comúnmente usados en contextos no espaciales, aplicados en la evaluación del desempeño en superficies continuas borrosas dentro de un entorno SIG. Se evalúa su comportamiento y las diferencias de los resultados aplicados en los valores de adecuación territorial para dos objetivos diferentes.

El propósito principal consiste en evaluar, tanto la viabilidad técnica aplicada en estos métodos de análisis espaciales borrosos, considerando la com-

plejidad y el volumen de datos implicado como su impacto en la interpretación espacial de los resultados, especialmente con relación con la estabilidad y robustez de la toma de decisiones territoriales. Se analiza la consistencia y confiabilidad de los resultados frente a las variaciones introducidas por cada método (en términos de coherencia, sensibilidad a variaciones metodológicas y utilidad para la decisión) con la finalidad de identificar los enfoques más adecuados para aplicaciones prácticas.

El estudio incluye una comparación detallada de las diferencias espaciales y estadísticas entre los métodos, mostrando que las variaciones suelen ser pequeñas, en ciertos métodos pueden producir valores de adecuación sustancialmente diferentes, influyendo en la selección final de áreas para distintos usos territoriales.

Metodología

Datos y modelo de partida

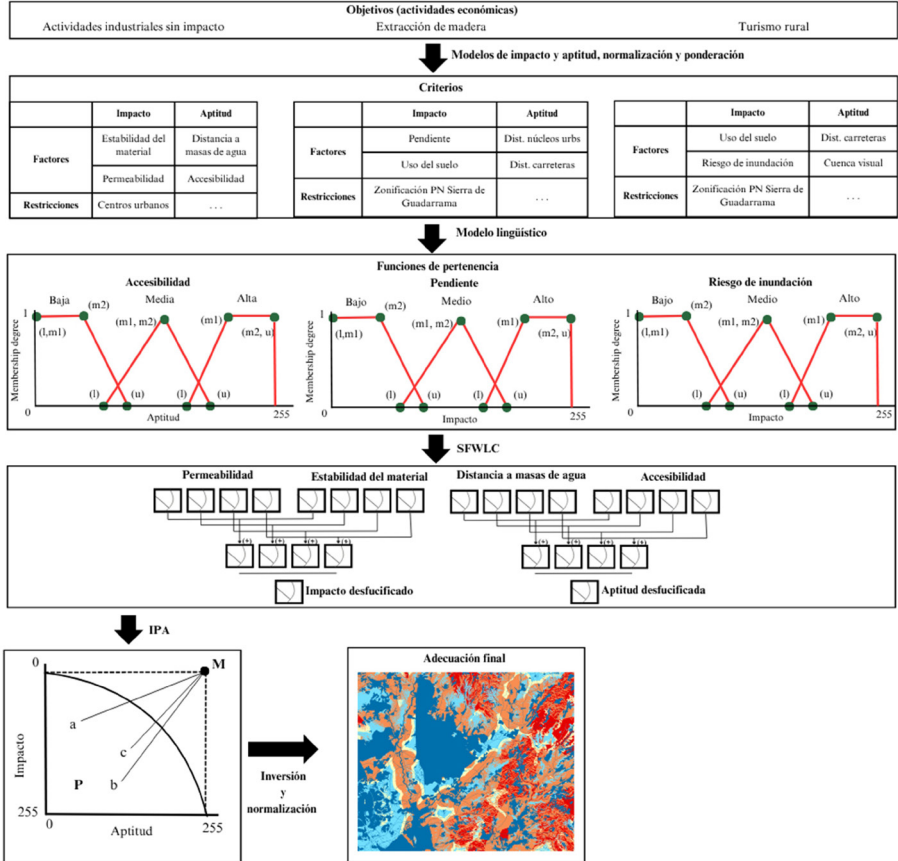
Para el desarrollo del trabajo y consecución de los objetivos mencionados, partimos de los resultados de la aplicación de una EMC borrosa en dos fases y para dos objetivos o actividades a desarrollar en el Alto Valle del Lozoya (Figura 2) ubicado en el Norte de la región de Madrid (España): identificación de terreno adecuado para realizar una actividad de explotación forestal (extracción de madera) y el desarrollo de actividades relacionadas con turismo rural (alojamientos). Se trata, por tanto, de dos objetivos con necesidades de terreno diferentes con factores de adecuación e impacto también diferentes.

Para la identificación de estos terrenos se ha utilizado el conocido modelo de capacidad de acogida, contemplando la combinación equilibrada de aquellos factores que nos permitan evaluar la aptitud del territorio y atender estas actividades para permitir evaluar de manera posible el impacto de las mismas; por lo tanto la aptitud del terreno como su impacto se han evaluado mediante una Sumatoria Lineal Ponderada Borrosa (su implicación de un importante número de factores y restricciones) y el resultado de adecuación final obtenido aplicando un Análisis de Punto Ideal entre ambos (Figura 2).

Como hemos mencionado, la novedad reside en la utilización de funciones lingüísticas desde la aplicación de los pesos a los factores a la evaluación de las alternativas (método de desfucificación en fases intermedias) lo que supone la generación de un número importante de imágenes ráster para un área de 40.000 Has y con una resolución de 10x10m. La carga computacional varía en función de la cantidad de factores y el tamaño de las imágenes; por ejemplo: uno de los escenarios analizados con 7 factores ha procesado 5484 bloques de aproximadamente 208 píxeles de lado.

CAPÍTULO 1. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO BORROSAS EN UN ENTORNO SIG. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DESFUCCIFICACIÓN

Figura 2. Flujograma de aplicación del modelo de EMC borrosa de partida



Fuente: Sanz-Blasco *et al.*, 2025.

Partiendo de los factores y los pesos utilizados en cada caso (aptitud e impacto), se aplicó la SLPEB (Malczewski, 1999) que implica realizar la sumatoria de los resultados al multiplicar el valor del componente borroso para cada alternativa de cada factor por los pesos asignados también tratados como números borrosos (Chen *et al.*, 2011; Anagnostopoulos y Vavatsikos, 2012) (Ecuación 1):

$$\tilde{e}_i = \left(\sum_{j=1}^n lw_j \times le_{ij}, \sum_{j=1}^n m_1w_j \times m_{1e_{ij}}, \sum_{j=1}^n m_2w_j \times m_{2e_{ij}}, \sum_{j=1}^n uw_j \times ue_{ij} \right) \quad (1)$$

Donde: $\tilde{e}_i$ es el conjunto borroso. Representa el valor de la adecuación para la alternativa i .

l y u representan los límites inferior y superior, respectivamente, del número borroso (e_j) del valor de cada factor j .

m_1 y m_2 representan los valores con máximo grado de la función de pertenencia.

w_j es el peso del factor j en forma de conjunto borroso, y

e_{ij} representa el valor del componente borroso en la alternativa i del factor j .

Para ello se desarrolla un algoritmo con el que se puede realizar los cálculos de manera eficiente, optimizando los recursos que pueden llegar a consumir la ejecución computacional de este proceso. Este algoritmo se ha realizado en el lenguaje de programación Python compatible con la mayoría de los softwares SIG actuales. Se han usado como extensiones, bibliotecas como GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*) para manejar datos espaciales y *Dask* para escalar, paralelizar y optimizar tareas espaciales.

Es posible encontrar información más amplia sobre el proceso realizado en Sanz-Blasco *et al.*, 2025, donde aparecen los resultados del cálculo mediante un procedimiento normal y borroso.

Aplicación de los distintos métodos de desfucificación

Uno de los métodos utilizados para la obtención del valor de adecuación final en cada píxel del área de estudio fue el *Trapezoid Median Average* (TMA); un método relevante en este contexto, entre otras cosas, eficiente desde el punto de vista computacional teniendo en cuenta las esquinas superiores como las inferiores de las pendientes. Cuestión importante para trapecios asimétricos (Ecuación 2) (Banaiyan *et al.*, 2006).

$$z^* = \frac{a + b + c + d}{n} \quad (2)$$

Donde z^* es el valor de desfucificación: a , b , c y d como los puntos críticos de la función de pertenencia del trapecio (siendo al inicio del soporte, d el final del soporte, y b , c los puntos que definen la parte superior del trapecio). Aquí n representa el número de puntos críticos considerados (generalmente 4 para un trapecio completo).

Sin embargo, existen en la literatura muchas posibilidades para llevar a cabo este proceso (Opricovic y Tzeng, 2003), siendo el más empleados en el contexto de la EMC Borrosa el método el *Center of Gravity* (CoG) (Ecuación 3) por su alta precisión a la hora de obtener el valor nítido (Chen *et al.*, 2011; Anagnostopoulos y Vavatsikos, 2012; Vafai *et al.*, 2013; Juanpera *et al.*, 2022).

No obstante, su principal desventaja es su complejidad computacional, lo que impide su uso en muchas aplicaciones del mundo real (Mahdiani *et al.*, 2013).

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad (3)$$

También, el uso de los métodos *Middle of Support* (MoS) (Ecuación 4) y *Middle of Maxima* (MoM) (Ecuación 5) debido a su simplicidad computacional y a su fácil interpretación en contextos de lógica difusa.

El método MOS calcula el valor *crisp* o rígido como el punto medio del soporte en el conjunto difuso. Este enfoque considera su extensión, es decir, lo hace adecuado cuando se desea una representación equilibrada del rango completo de posibles valores, incluidos aquellos con baja pertenencia.

$$z^* = \frac{a + d}{2} \quad (4)$$

Donde a y d son los puntos de inicio y fin del soporte del conjunto difuso, respectivamente.

Por otro lado, el método MoM se basa en los puntos donde la función de pertenencia alcanza su valor máximo para calcular el punto medio entre ellos. Este método es especialmente útil cuando se quiere obtener una solución representativa de los valores más compatibles con mayor grado de pertenencia, sin tener en cuenta el resto de valores de la función. Debido a sus características, es uno de los métodos con menor precisión, ya que, su costo de implementación es de los más bajos en el contexto de la lógica difusa (Banaian *et al.*, 2005).

$$z^* = \frac{b + c}{2} \quad (5)$$

Donde b y c son los puntos que definen el intervalo (o meseta) donde la función en pertenencia que alcanza su valor máximo.

El objetivo de este trabajo es comprobar si se producen modificaciones importantes en los resultados aplicando el método u otro de desfuzificación; además, comprobar su viabilidad en la utilización de aquellos costos computacionales es elevado.

Análisis de los resultados

Para analizar el alcance de la variación que producen los resultados de esta variación, afecta de la misma forma el objetivo para solucionar la aplicación

de la EMC borrosa; se extrajeron estadísticas básicas y realizaron una serie de procedimientos espaciales sencillos (utilizando el SIG TerrSet) que se enumeran a continuación. También, se logró comprobar si las variaciones registradas en los resultados (en caso de producirse) son acordes a las características de cada método expuesto en el apartado anterior. Finalmente, se comprobó qué alternativas son las más estables y robustas; al ser seleccionadas independientemente de método de desfucificación utilizado. Así se realizó una comparación en el resultado obtenido con el método inicialmente utilizado (TMA):

1. Extracción de estadísticas básicas y análisis de histograma de frecuencias.
2. Cuantificación de las diferencias del nivel de adecuación final a nivel de píxel e identificación de las zonas donde se producen estas diferencias.
3. Obtención de las mejores alternativas a nivel de parcela para cada objetivo (una vez establecido la superficie mínima requerida para cada uno de ellos) y para cada método de desfucificación, comprobando las coincidencias entre los distintos métodos.

Resultados

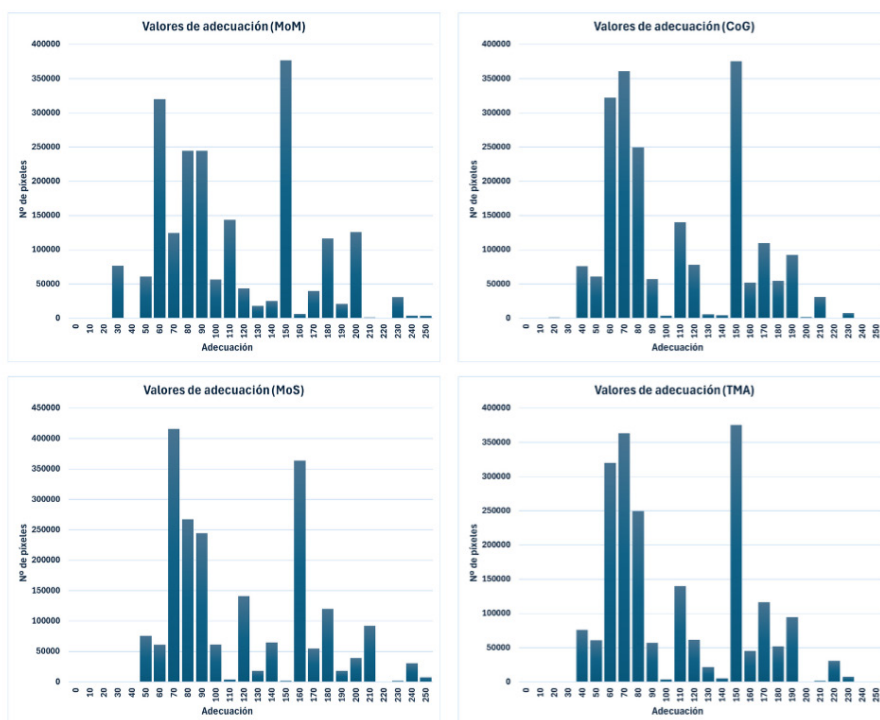
Un primer análisis visual de los resultados utilizando los cuatro métodos de desfucificación, indica que las variaciones no son importantes a nivel general, pero presentan patrones coherentes con la naturaleza de cada método.

Los análisis estadísticos globales revelan una mayor similitud entre los resultados de TMA y CoG en comparación con MoS y MoM, reflejado valores mínimos y medios más cercanos (Figuras 3 y 4). Para el objetivo de explotación forestal (Figura 3), las diferencias no son drásticas. MoS muestra una media ligeramente superior (122,8 vs. 110,7 de TMA) y MoM presenta valores mínimos inferiores (8 vs. 14 de TMA/CoG). La tendencia de MoS a sobreestimar la adecuación se explica por su selección del punto de máxima pertenencia. En general, para este objetivo, los cuatro métodos indican una adecuación predominantemente media-baja, con píxeles entre 60-80 y un pico menor alrededor de 150-170; sugiriendo que gran parte del territorio tiene una idoneidad moderada a baja para la explotación maderera con áreas de alta idoneidad limitadas.

En contraste, para el objetivo de alojamiento de turismo rural (Figura 4), las distribuciones de adecuación muestran un cambio notable hacia valores más altos. El pico principal se sitúa entre 150-170 y un segundo pico en torno a 180-190. Este patrón sugiere que las condiciones generales del Valle de Lozoya son, en promedio, favorables para el desarrollo de actividades de turismo rural que para la explotación forestal. Las variaciones más significativas

se observan con el método MoS que presenta valores mínimos inferiores y una media de adecuación superior (Figura 4). Los histogramas de frecuencia confirman un ligero aumento de píxeles con alta adecuación con MoS, lo cual concuerda con la naturaleza de este método que selecciona el punto de máxima pertenencia y descarta el resto de la distribución. Esta disparidad en las distribuciones y medias de adecuación entre los dos objetivos (explotación forestal y turismo rural), se deben directamente a los criterios de adecuación específicos establecidos para cada uno, alterando la percepción de la aptitud del territorio.

Figura 3. Histogramas de los valores de adecuación para el objetivo de explotación maderera y estadísticas básicas de los cuatro métodos de desfucificación



MÉTODO	Min	Max	Media
MOS	11-14	255	122,89
MOM	8	255	115,34
TMA	14	255	110,75
COG	14	255	109,85

Fuente: elaboración propia.

Las figuras 5 y 6 ilustran las diferencias específicas en el valor de adecuación de cada píxel en comparación con el método TMA (desfucificación original), confirmando las características esperadas de los cuatro métodos. El método CoG muestra mayor consistencia con TMA para ambos objetivos; diferencias prácticamente inapreciables que superan los 3 puntos (en una escala de 1 a 255). Los histogramas de estas diferencias (Figuras 5 y 6) revelan que la mayoría de los píxeles registran 1 punto de diferencia o ninguno para su explotación forestal, 1 o 2 puntos para turismo rural. CoG tiende a ser ligeramente más restrictivo que TMA en la explotación forestal (donde TMA consistentemente arroja valores de adecuación más altos que CoG en la mayor parte de la zona, visible en los tonos naranjas y rojizos de los mapas) mientras que para el turismo rural, las diferencias son mínimas y centradas alrededor de cero (representadas por tonos muy claros o azules/rojos suaves).

El método MoM muestra un comportamiento intermedio y heterogéneo respecto a TMA. Para la explotación forestal, las diferencias pueden ascender hasta 17 puntos (Figura 5), aunque estos valores son excepcionales. La mayoría de los píxeles registran diferencias entre 5 y 8 puntos de adecuación, espacialmente heterogéneas en áreas donde MoM supera a TMA y viceversa. En contraste, para el turismo rural (Figura 6) la mayoría de los píxeles muestran diferencias nulas o entre 2 y 6 puntos de adecuación.

Como se esperaba, predominan las diferencias negativas (TMA con valores más bajos), aunque para turismo rural no son acusadas y excepcionalmente MoM, ya que presenta valores más bajos que TMA. Asimismo, para el turismo rural, las diferencias positivas (TMA con valores más altos que MoM) son más evidentes en el mapa (tonos rojos).

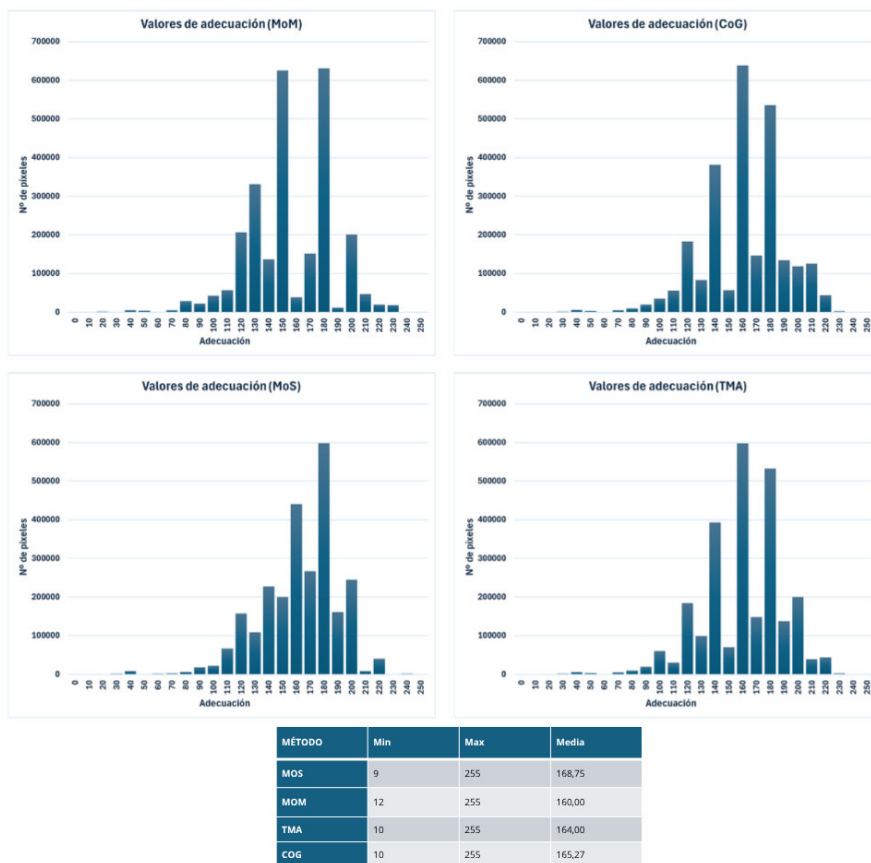
Las mayores diferencias respecto a TMA se registran con el método MoS. Estas son notablemente más elevadas para la explotación forestal (hasta 29 puntos) que para el turismo rural (hasta 18 puntos). Analizando la Figura 5, la mayor proporción de diferencias para explotación forestal se concentra entre 8 y 11 puntos, descendiendo a 3 y 6 para turismo rural. Para la explotación forestal, se observa un claro predominio de diferencias negativas significativas (MoS asigna valores considerablemente más bajos que TMA, visible en tonos azules intensos del mapa); lo que convierte a este método más restrictivo en este escenario. Aunque estas diferencias negativas persisten para el turismo rural, su magnitud es menor y se aprecia una mayor presencia de diferencias cercanas a cero o ligeramente positivas en el mapa; lo que indica una mayor similitud entre MoS y TMA en este segundo objetivo.

En conclusión, MoS es consistentemente el método que genera las mayores diferencias con TMA en ambos objetivos. Su enfoque en los puntos de máxima pertenencia lo lleva a una tendencia a asignar valores de adecuación relativamente más altos que TMA. Esta discrepancia es especialmente pronunciada para la explotación forestal, pero se atenúa en el escenario de turismo rural.

CAPÍTULO 1. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO BORROSAS EN UN ENTORNO SIG. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DESFUCIFICACIÓN

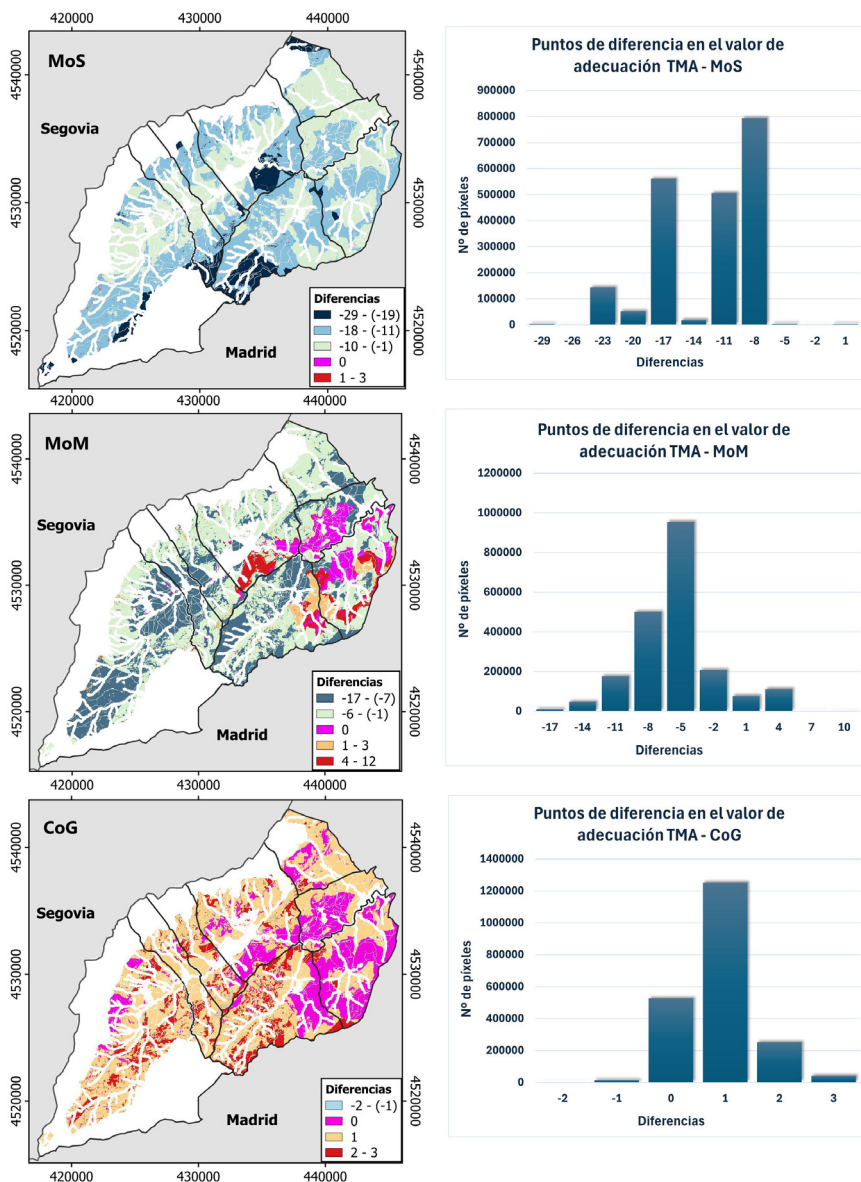
Extraídas las parcelas más adecuadas para cada método de desfucificación y con las restricciones de área establecidas originalmente, comprobamos que existe una mayor coincidencia de los cuatro métodos en el caso del objetivo de alojamiento rural, presentando mayores coincidencias en 2 o 3 métodos. Si bien no aparece reflejado en los mapas incorporados en la comunicación, hemos de indicar que cuando se produce menos de 4 o 3 coincidencias, suele reproducirse la misma situación que venimos indicando con los análisis anteriores; es decir, hay más probabilidad de coincidencia en cada par de métodos, entre TMA y CoG por un lado y MoS y MoM por otro.

Figura 4. Histogramas de los valores de adecuación para el objetivo de alojamiento turístico y estadísticas básicas de los cuatro métodos de desfucificación



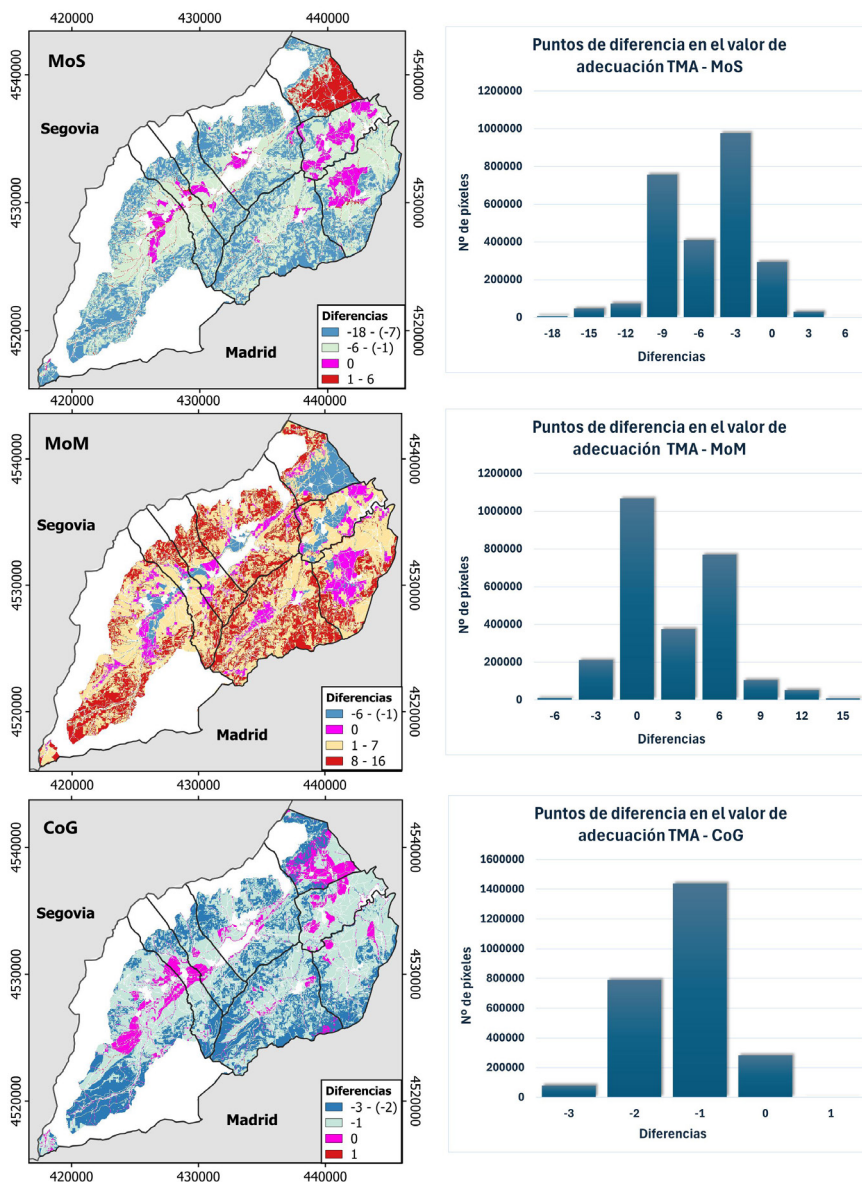
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Mapas e histogramas de frecuencias de las diferencias en los valores de adecuación del objetivo de explotación maderera de los métodos MoS, MoM y CoG con respecto a TMA



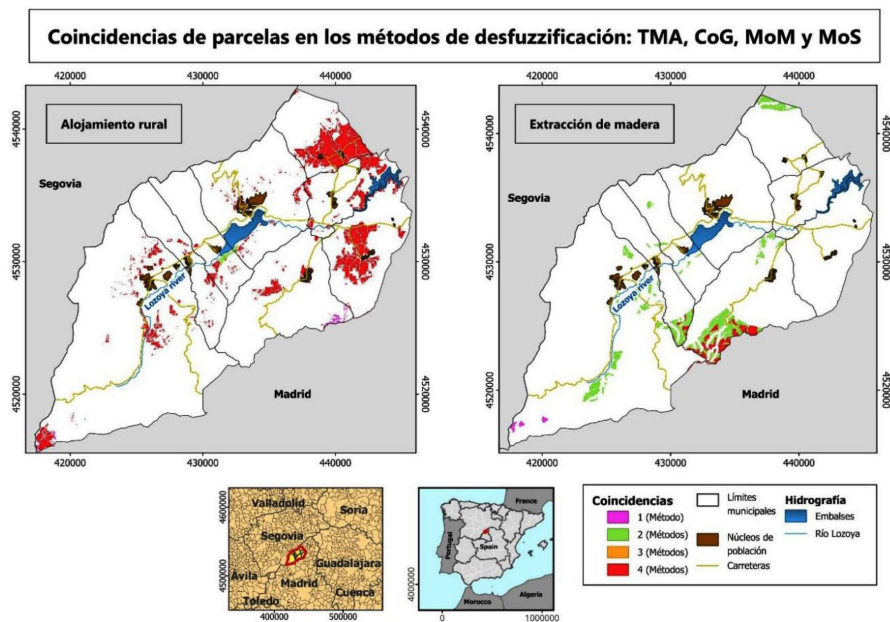
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Mapas e histogramas de frecuencias de las diferencias en los valores de adecuación del objetivo de alojamiento turístico de los métodos MoS, MoM y CoG con respecto a TMA



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Coincidencias de parcelas en los métodos de desfucificación TMA, CoG, MoM y MoS



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El análisis realizado demuestra que es posible aplicar diferentes métodos clásicos de desfucificación en un entorno SIG totalmente borroso, aunque cada uno genera resultados ligeramente diferentes que afectan a la interpretación final de la adecuación territorial. En el caso de estudio, la coincidencia espacial de parcelas, finalmente seleccionadas entre métodos fue mayor para el objetivo de alojamiento turístico debido a su menor exigencia de superficie mínima (0,5 Ha); mientras que para la explotación forestal (con una superficie mínima de 7 Ha) las diferencias fueron más notables.

La comparación entre pares de métodos mostró un patrón consistente: MoM y MoS presentaron mayor similitud entre sí, al igual que TMA y CoG, lo que expone la importancia de elegir el método adecuado según el tipo de problema y la estructura de la información borrosa (Klir y Yuan, 1995). Estas diferencias se explican mediante las propiedades matemáticas inherentes en cada método que condicionan cómo manejan la incertidumbre espacial y representan la variabilidad gradual e imprecisa; característica de los problemas territoriales reales.

MoS y MoM serían más apropiados para identificar valores extremos y su aplicación podría ser la apropiada cuando los valores críticos resultan muy importantes en el análisis (inundaciones, estudios geológicos) (Ross, 2010), por lo que en este caso es más eficiente la aplicación de CoG o TMA cuya formulación resulta más sencilla y tienen un menor costo computacional (Mendel, 2017).

En cualquier caso, es fundamental realizar no solo un análisis espacial riguroso, sino también evaluar la robustez y la interpretabilidad de los métodos mediante otros tipos de análisis, entre ellos, análisis de sensibilidad. Estos enfoques permiten confirmar la estabilidad, coherencia y capacidad explicativa de cada método.

Finalmente, se considera relevante profundizar en futuras investigaciones sobre otras propiedades matemáticas, como su escalabilidad, linealidad y estabilidad frente a estas variaciones, así como su adaptación a diferentes resoluciones espaciales y temáticas (Hatzichristos y Ntzanis, 2023; Lima *et al.*, 2025). Todo ello contribuye a la toma de decisiones más informada, consistente y contextualizada.

Bibliografía

- Anagnostopoulos, K. y Vavatsikos, A. (2012). Site suitability analysis for natural systems for wastewater treatment with spatial fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Journal of water resources planning and management*, 138(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000155](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000155)
- Akbari, M., Neamatollahi, E., y Neamatollahi, P. (2019). Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 98, 587–598. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2018.11.035>
- Banaian, A., Mahdiani, H.R., y Fakhraie, S.M., (2006, julio 16-21). *Software Implementation Issues of Existing and New Defuzzification Methods*. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vancouver, Canada. <https://doi.org/10.1109/fuzzy.2006.1681952>
- Banaian, A., Fakhraie, S.M., y Mahdiani, H.R., (2005, noviembre 28-30). *Cost-Performance Co-Analysis in VLSI Implementation of Existing and New Defuzzification Methods*. International Conference on Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'06), Vienna, Austria. <https://doi.org/10.1109/cimca.2005.1631367>
- Chen, V.Y.C., Lien, H.P., Liu, C.H., Liou, J.J.H., Tzeng, G.H. y Yang, L.S. (2011). Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Applied soft computing*, 11, 265-275. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2009.11.017>

- Feizizadeh, B., Roodposhti, M.S., Jankowski, P., y Blaschke, T. (2014). A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers y Geosciences*, 73, 208-221. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.08.001>
- Goswami, T., Hasan, M.S., y Ghosal, S. (2022). Site suitability of emerging maize cultivation in a changing agroclimatic setting of eastern India: a fuzzy-MCE integrated analysis. *Environment, Development and Sustainability* 26, 1229-1261. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02756-y>
- Hatzichristos, T., y Ntzanis, D. (2023). Comparison of defuzzification operators on geographic data of ratio scale. *Intelligent Information Management*, 15(5), Article 18. <https://doi.org/10.4236/iim.2023.155018>
- Juanpera, M., Domenech, B., Ferrer-Martí, L., García-Villoria, A. y Pastor, R. (2022). Methodology for integrated multicriteria decision-making with uncertainty: extending the compromise ranking method for uncertain evaluation of alternatives. *Fuzzy sets and systems*, 434, 135-158. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2021.08.008>
- Klir, G. J., y Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*. Prentice Hall.
- Lima, J. F., Patiño-León, A., Orellana, M., y Zambrano-Martinez, J. L. (2025). Evaluating the impact of membership functions and defuzzification methods in a fuzzy system: Case of air quality levels. *Applied Sciences*, 15(4), 1934. <https://doi.org/10.3390/app15041934>
- Mahdiani, H.R., Banaiyan, A., Haji Seyed, M., Javadi, Fakhraie, S.M., y Lucas, C., (2013). Defuzzification block: New algorithms, and efficient hardware and software implementation issues. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(1), 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.07.001>
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley y Sons, Inc.
- Mendel, J. M. (2017). Uncertain rule-based fuzzy logic systems: Introduction and new directions (2nd ed.). *Springer*.
- Önden, I., Pamucar, D., Deveci, M., As, Y., Birol, B. y Yildiz, F.S. (2024). Prioritization of transfer centers using GIS and fuzzy Dombi Bonferroni weighted assessment (DOBAS) model. *Expert Systems with applications*, 238, 121827. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121827>
- Opricovic, S. y Tzeng, G. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 17(5), 635-652. <http://dx.doi.org/10.1142/S0218488503002387>
- Prapanchan, V.N., Subramani, T. y Karunanidhi, D. (2024). GIS and fuzzy analytical hierarchy process to delineate groundwater potential zones in southern parts of India. *Groundwater for sustainable development*, 25, 101110. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101110>

CAPÍTULO 1. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO BORROSAS EN UN ENTORNO SIG. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DESFUCIFICACIÓN

- Rodríguez Espinosa, V., Aguilera Benavente, F. y Gómez Delgado, M. (2020). Green infrastructure design using GIS and spatial analysis. a proposal for the Henares Corridor (Madrid-Guadalajara, Spain). *Landscape Research*, 45(1), 26-43. <https://doi.org/10.1080/01426397.2019.1569221>
- Ross, T. J. (2010). *Fuzzy logic with engineering applications* (3rd ed.). John Wiley y Sons.
- Sanz-Blasco, E., Gómez-Delgado, M., Clemente Párraga, J. y Aguilera-Benavente, F. (2025). Development of a plugin-based prototype for spatial application of fuzzy multicriteria evaluation. *Expert Systems With Applications*, 276, 127199. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127199>
- Vafai, F., Hadipour, V. y Hadipour, A. (2013). Determination of shoreline sensitivity to oil spilss by use of GIS and fuzzy model. Case study – The coastal area of Caspian Sea in north of Iran. *Ocean y Coastal Management*, 71, 123-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.05.033>
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8, 338-353.
- Zarin, R., Azmat, M., Naqvi, S.R., Saddique, Q. y Ullah, S., (2021). Landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC method based on multi-criteria decision analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19726–19741. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11975-7>

Capítulo 2. Marco teórico y metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad climática mediante lógica difusa y SIG a escala de cuencas en Colombia

DAVID ALEJANDRO MUÑOZ ¹

JOSÉ EMILIO BARÓ SUÁREZ ²

ELKIN DE JESÚS SALCEDO HURTADO ³

ADRIANA MARTÍNEZ ARIAS ⁴

Introducción

El cambio climático se ha reafirmado como uno de los principales componentes en la transformación de los sistemas socioambientales a escala global, intensificando la frecuencia e intensidad de eventos extremos y recrudeciendo procesos de degradación ambiental, pérdida de biodiversidad y presión sobre los recursos hídricos. Estos impactos adquieren particular relevancia en las cuencas hidrográficas, entendidas como unidades territoriales complejas donde confluyen dinámicas climáticas, ecológicas, sociales y político-administrativas, cuya respuesta depende tanto de las condiciones biofísicas como de la capacidad adaptativa en las comunidades e instituciones que las gestionan. Por consiguiente, conocer la distribución espacial de esta vulnerabilidad climática resulta fundamental para identificar áreas con mayor riesgo diseñando estrategias de adaptación diferenciadas que permitan

1 Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

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

3 Facultad de Humanidades Escuela de Geografía. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

4 Facultad de Ingeniería y Administración. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

comprender cómo los territorios responden de manera diferente a los impactos climáticos.

Es así como la vulnerabilidad suele conceptualizarse como una función de la exposición; la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Desde esta perspectiva, su evaluación exige enfoques metodológicos capaces de representar la complejidad, la incertidumbre y las transiciones graduales propias de los sistemas socio-ecológicos. Los métodos tradicionales basados en la clasificación rígida o umbral determinista representan limitaciones relevantes para capturar estas dinámicas; especialmente cuando se requiere integrar variables de distinta naturaleza, escala y nivel de precisión. En este contexto, las ciencias geoespaciales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han ampliado de manera sustancial la posibilidad de análisis espacial de la vulnerabilidad climática; facilitando la integración, visualización y análisis de información ambiental, socioeconómica e institucional. No obstante, persiste el desafío metodológico de incorporar de manera explícita la incertidumbre inherente en los datos climáticos y sociales, así como la naturaleza gradual y no lineal de los procesos de vulnerabilidad (Yang y Lieske, 2025).

Frente a este desafío, la lógica difusa se consolida como una herramienta particularmente adecuada para la evaluación de la vulnerabilidad en sistemas socioecológicos complejos, ya que permite modelar fenómenos imprecisos mediante grados de pertenencia continuos que representan transiciones suaves en sus diferentes niveles de vulnerabilidad. Aplicaciones recientes han demostrado su utilidad para gestionar la incertidumbre asociada a variables ambientales, sociales e institucionales, superando las limitaciones de enfoques deterministas basados en umbrales rígidos como lo evidencian estudios de evaluación de vulnerabilidad climática en cuencas andinas y susceptibilidad social frente a inundaciones (Pérez-Ortiz *et al.*, 2025). Asimismo, investigaciones recientes destacan las ventajas de estos modelos difusos para la integración de datos heterogéneos, presentar conocimiento experto en contextos territoriales caracterizados por alta complejidad e incertidumbre (Bressane *et al.*, 2024).

Bajo este escenario, el presente capítulo propone un marco teórico y metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad climática mediante la integración de lógica difusa y SIG a escala de cuencas hidrográficas en Colombia; tomando como referencia el estudio realizado en la cuenca del río Quilichao. El enfoque se desarrolla orientando a la construcción de un Índice de Vulnerabilidad Climática (IVC) que integra variables ambientales, socioeconómicas y político-administrativas, con el propósito de fortalecer el análisis territorial bajo condiciones de alta incertidumbre. Más allá del caso de estudio, este apartado busca contribuir a la formación de una línea base conceptual y metodológica robusta y replicable en otros contextos territoriales de América

Latina y región iberoamericana como soporte para la planificación territorial, la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático.

Antecedentes

La aplicación de la lógica difusa en el análisis ambiental y territorial ha experimentado un crecimiento constante en la última década, consolidándose como un enfoque eficaz para modelar sistemas complejos caracterizados por información incompleta, imprecisa o altamente variable. Sin embargo, en el ámbito del cambio climático y la evaluación de vulnerabilidad, la lógica difusa ha demostrado una notable capacidad para representar de vulnerabilidad que manejan la incertidumbre inherente a variables ambientales, climáticas y socioinstitucionales, superando las limitaciones de los enfoques deterministas tradicionales. Investigaciones recientes han utilizado lógica difusa integrada con métodos multicriterio y sistemas de información geográfica para mapear esta vulnerabilidad ambiental y climática en contextos socioecológicos complejos como lagunas y cuencas hidrográficas; mostrando resultados más flexibles y precisos en comparación con otras metodologías rígidas (por ejemplo, aplicaciones en cuencas y sequías en África) (Pautz *et al.*, 2023)

A nivel internacional, diversos estudios han aplicado la lógica difusa para la evaluación de la vulnerabilidad climática y la gestión de riesgos asociados a fenómenos extremos. Schaefer *et al.* (2020) evidenciaron el potencial de los sistemas basados en la lógica difusa y SIG que mide y visualiza la resiliencia climática, facilitando la comunicación de resultados en contextos con limitada disponibilidad de información cuantitativa. De manera complementaria, Nikolova *et al.* (2021) demuestra la capacidad de este enfoque para integrar variables climáticas y socioeconómicas en la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía, resaltando utilidad para la planificación territorial.

La lógica difusa también ha sido ampliamente utilizada en el análisis de riesgos geológicos y ambientales. Bruzón *et al.* (2024) desarrollaron metodologías automatizadas basadas en la lógica difusa para el mapeo de la vulnerabilidad a deslizamientos; mientras Abedi Gheshlaghi *et al.* (2020) y Juvanhol *et al.* (2021) aplican enfoques difusos combinados para el análisis multicriterio en la evaluación del riesgo de incendios forestales. Estos estudios señalan que esta lógica difusa permite una identificación más precisa en áreas críticas al representar adecuadamente la interacción entre múltiples factores de riesgo.

Investigaciones recientes muestran el potencial de la lógica difusa integrada con sistemas de información geográfica para el análisis de la vulnerabilidad en los recursos hídricos de contextos complejos. Halder *et al.* (2023), combinan lógica difusa con entropía de Shannon y SIG para evaluar la vulnerabilidad hídrica; ampliando los métodos clásicos mediante la incorporación simultánea de factores antropogénicos y parámetros geológicos e hidrológicos que permiten una representación más exacta de la incertidumbre inheren-

te a estos sistemas. De manera complementaria, Akbari *et al.* (2019) demuestra la eficacia de la lógica difusa expuesta en el análisis multicriterio de la evaluación en la idoneidad del uso del suelo dentro de regiones áridas; destacando su aporte en la toma de decisiones territoriales estos escenarios caracterizados por alta complejidad ambiental.

En América Latina y particularmente en Colombia, aunque la aplicación de la lógica difusa en la evaluación de la vulnerabilidad climática ha sido aún incipiente, se han desarrollado aportes relevantes. Golondrino *et al.* (2023) aplicaron un sistema difuso para la evaluación del riesgo en inundaciones del río Magdalena; integrando variables topográficas, climáticas y de uso del suelo. De igual forma, Franco y Tarquino (2018) como Vargas-Franco y Restrepo-Tarquino (2018), desarrollaron índices de vulnerabilidad en microcuencas andinas; empleando lógica difusa e inteligencia artificial, destacando la necesidad de integrar dimensiones ambientales, sociales e institucionales en el análisis de la vulnerabilidad.

Por otro lado, estudios recientes en Colombia han ampliado el alcance de la lógica difusa hacia campos como la salud pública y la planificación urbana. Aliaga-Samanez *et al.* (2024) aplica modelos difusos para evaluar el riesgo de transmisión de enfermedades sensibles al clima, mientras que Ortega Sandoval *et al.* (2023) utiliza este enfoque para evaluar la viabilidad de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en contextos urbanos complejos. Estas aplicaciones evidencian la versatilidad del enfoque difuso y su potencial para abordar problemas territoriales desde una perspectiva integral.

En los últimos años, esta evaluación climática ha demostrado una tendencia clara hacia el uso de enfoques integradores que combinan técnicas de análisis espaciales con metodologías capaces de representar la incertidumbre inherente a los sistemas socioambientales. En diversos estudios se demostró que la lógica difusa constituye una alternativa metodológica adecuada para superar las limitaciones de los enfoques deterministas tradicionales; especialmente en el contexto hidrográfico donde la interacción entre amenazas climáticas, condiciones sociales y capacidades institucionales presentan comportamientos no lineales (Moragues *et al.*, 2025; Vaz *et al.*, 2025). En particular, aplicaciones desarrolladas a escala de cuenca muestran que la incorporación de lógica difusa que representa gradientes de vulnerabilidad de manera más realista, fortaleciendo la utilidad de los índices como herramientas de análisis territorial y planificación ambiental (Pérez - Ortiz *et al.*, 2025; Martínez *et al.*, 2023).

Por consiguiente, la aplicación de un Índice de Vulnerabilidad Climática basado en la lógica difusa de la cuenca del río Quilichao y la Reserva Natural Cerro Munchique-Los Tigres constituye el aporte metodológico relevante que integra variables ambientales, socioeconómicas y político-administrativas en un marco analítico coherente. Si bien la investigación sobre esta lógica

difusa aplicada a cuencas colombianas sigue siendo limitada, este enfoque ofrece una base sólida para priorizar acciones de mitigación y adaptación, fortalece la gestión del recurso hídrico y apoya la formulación de políticas públicas orientadas a la reducción de la vulnerabilidad climática en territorios altamente expuestos. Estos estudios evidencian la brecha metodológica en la aplicación sistemática de la lógica difusa a la evaluación en la vulnerabilidad climática de las cuencas hidrográficas colombianas; lo cual refuerza la pertinencia del marco propuesto en este capítulo.

Consideraciones teóricas

Vulnerabilidad climática como constructo socioambiental complejo

La vulnerabilidad climática constituye un concepto central en los estudios contemporáneos sobre cambio climático y sostenibilidad territorial. Desde la perspectiva de la ciencia la sostenibilidad y vulnerabilidad se entiende como el resultado de la interacción entre la exposición de amenazas climáticas, sensibilidad del sistema y su capacidad adaptativa (Turner *et al.*, 2003; IPCC, 2007). Esta definición reconoce que la vulnerabilidad no depende exclusivamente de factores físicos o climáticos, sino que está profundamente condicionada por dimensiones sociales, económicas, institucionales y de gobernanza.

En el marco de las cuencas hidrográficas, la vulnerabilidad climática adquiere una naturaleza particularmente compleja debido a la convergencia de procesos hidrológicos, dinámicas ecosistémicas y actividades humanas. Las cuencas funcionan como sistemas socioecológicos integrados donde las alteraciones en los regímenes de precipitación, la frecuencia de eventos extremos y los cambios en el uso del suelo interactúan con condiciones socioeconómicas y capacidades institucionales desiguales; generando patrones espaciales diferenciados en vulnerabilidad.

La literatura especializada ha señalado que los enfoques tradicionales de evaluación de la vulnerabilidad, basados en las clasificaciones rígidas o indicadores aislados, resultan insuficientes para capturar esta complejidad (Bubeck *et al.*, 2014; Hagenlocher *et al.*, 2018). En particular, la existencia de gradientes continuos a exposición y sensibilidad así como la incertidumbre inherente a los datos climáticos y socioeconómicos; exigiendo marcos conceptuales y analíticos capaces de representar transiciones graduales y relaciones no lineales entre variables.

Incetidumbre, gradualidad y análisis territorial

Uno de los principales retos teóricos en la evaluación de la vulnerabilidad climática radica en el tratamiento de la incertidumbre. Ésta se manifiesta tanto en la variabilidad climática natural como en las limitaciones de los datos dis-

ponibles, la escala de análisis y la complejidad de las interacciones socioambientales. En territorios como las cuencas andinas colombianas, caracterizadas por una alta heterogeneidad espacial y climática expuestas en estos desafíos.

Desde el análisis territorial, la vulnerabilidad no puede ser entendida como un estado dicotómico (vulnerable / no vulnerable), sino como un continuo que varía espacial y temporalmente. En este sentido, los enfoques basados en umbrales rígidos tienden a simplificar excesivamente la realidad, ocultando zonas de transición que pueden ser críticas para la gestión del riesgo y la planificación territorial. La necesidad de representar estas transiciones ha impulsado el uso de metodologías que incorporan explícitamente la gradualidad e incertidumbre en la evaluación de la vulnerabilidad climática.

Esta aproximación encuentra un sólido respaldo en la literatura teórica reciente, la cual refuerza la idea de que la vulnerabilidad climática no constituye una condición estática ni discretizable mediante esquemas deterministas. Destacando los enfoques basados en la gradualidad y el tratamiento explícito de la incertidumbre, ofrecen una representación más consistente de los procesos territoriales; especialmente en sistemas complejos como las cuencas hidrográficas (Tanim *et al.*, 2023). En este contexto, la lógica difusa se consolida no solo como una herramienta computacional, sino como el marco conceptual que permite capturar transiciones continuas entre distintos niveles de vulnerabilidad, alineándose con los debates actuales en las geociencias y los estudios sobre riesgo y cambio climático.

Fundamentos teóricos de la lógica difusa

La lógica difusa, propuesta inicialmente por Zadeh (1965), surge como una extensión de la lógica booleana clásica; permitiendo la representación matemática de la imprecisión y el razonamiento aproximado. A diferencia de la lógica tradicional que asigna valores binarios [0 o 1] en lugar de valores binarios absolutos (verdadero/falso). Esta capacidad de modelar gradientes de verdad permite la representación de fenómenos ambiguos y no lineales que difícilmente capturan mediante lógicas discretas tradicionales. En décadas recientes, la teoría de conjuntos difusos y sistemas de lógica difusa han evolucionado significativamente, no solo en términos de aplicaciones prácticas sino también en sus fundamentos conceptuales; consolidándose como herramientas robustas para gestionar incertidumbre y vaguedad en múltiples dominios científicos y tecnológicos; desde el análisis de datos hasta la toma de decisiones en contextos complejos como en revisiones sobre desarrollos teóricos y aplicaciones de lógica difusa (Saatchi, 2024) Los cuales muestran la lógica difusa aplicada en las diferentes investigaciones que confirman su pertinencia para la modelación de fenómenos hidroclimáticos y socioambientales. Demostrando que los sistemas difusos permiten integrar indicadores heterogéneos sin perder información asociada a la variabilidad climática, mejorando la

consistencia interna de los Índices de vulnerabilidad y riesgo (Oyoualsoud *et al.*, 2023). De esta manera, la adopción de estructuras jerárquicas y reglas difusas han mostrado resultados robustos en la evaluación de múltiples amenazas climáticas, lo que respalda su uso como base metodológica en estudios territoriales con fines analíticos y de planificación (Cardone *et al.*, 2024).

Lógica difusa aplicada a la evaluación de la vulnerabilidad climática

Bajo el escenario de la vulnerabilidad climática, la lógica difusa ha demostrado ser un marco teórico adecuado para integrar múltiples dimensiones de riesgo en un solo esquema analítico. Su capacidad para combinar variables cuantitativas y cualitativas, así como para modelar relaciones no lineales, la convierte en una herramienta idónea para la construcción de índices sintéticos de vulnerabilidad.

Estudios previos han evidenciado que los modelos difusos permiten capturar mejor la interacción entre factores ambientales, socioeconómicos e institucionales, proporcionando evaluaciones más consistentes y espacialmente coherentes de la vulnerabilidad (Nobre *et al.*, 2007; Akbari *et al.*, 2019; Golondrino *et al.*, 2023). En particular, la lógica difusa facilita la representación de escenarios donde la vulnerabilidad emerge de la combinación simultánea en los múltiples factores; evitando la sobreestimación o subestimación del riesgo asociada a enfoques unidimensionales.

Desde una perspectiva teórica, la aplicación de la lógica difusa en cuencas hidrográficas permite conceptualizar la vulnerabilidad climática como un fenómeno emergente, resultado de la interacción dinámica entre procesos climáticos, condiciones biofísicas y estructuras socio institucionales. Este enfoque es coherente con los planteamientos de Turner *et al.* (2003) al reconocer que no es una propiedad estática del territorio, sino una condición dinámica que evoluciona en función de los cambios ambientales y sociales.

Integración conceptual de la lógica difusa y los Sistemas de Información Geográfica

La integración de la lógica difusa con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye un avance teórico relevante en el análisis territorial de la vulnerabilidad climática. Los SIG proporcionan el marco espacial necesario para la representación, análisis y visualización de la información geográfica, mientras que la lógica difusa aporta la capacidad de modelar la incertidumbre y gradualidad de los procesos territoriales.

Desde el punto de vista conceptual, esta integración permite un análisis espacial descriptivo así como evaluaciones territoriales más interpretativas en las que la vulnerabilidad se entiende como un continuo espacialmente explícito. Tal como lo señalan Schaefer *et al.* (2020) y Malczewski y Rinner (2015), la combinación de SIG y lógica difusa fortalece la toma de decisiones al generar

productos cartográficos que reflejan de manera más fiel la complejidad del territorio y facilitan la identificación de áreas prioritarias para la gestión del riesgo y adaptación al cambio climático.

Implicaciones teóricas para la gestión territorial y la adaptación climática

Desde una perspectiva teórica, el uso de la lógica difusa en la evaluación de la vulnerabilidad climática implica todo un cambio de paradigma en su forma de entender y gestionar el riesgo. En lugar de enfoques deterministas centrados en valores umbral, se promueve una visión gradual y adaptativa del territorio en la que es concebida como un fenómeno dinámico y multiescalar.

Contextos como el colombiano, caracterizados por la alta exposición de los riesgos climáticos, desigualdades, socioeconómicas y limitaciones institucionales, resultan un enfoque teórico que ofrece la base sólida para el diseño de estrategias de adaptación más flexibles y contextualizadas. La lógica difusa permite incorporar el conocimiento experto, la información cualitativa y los datos climáticos en un marco analítico integrado, fortaleciendo la coherencia entre el análisis científico y la toma de decisiones en la gestión territorial.

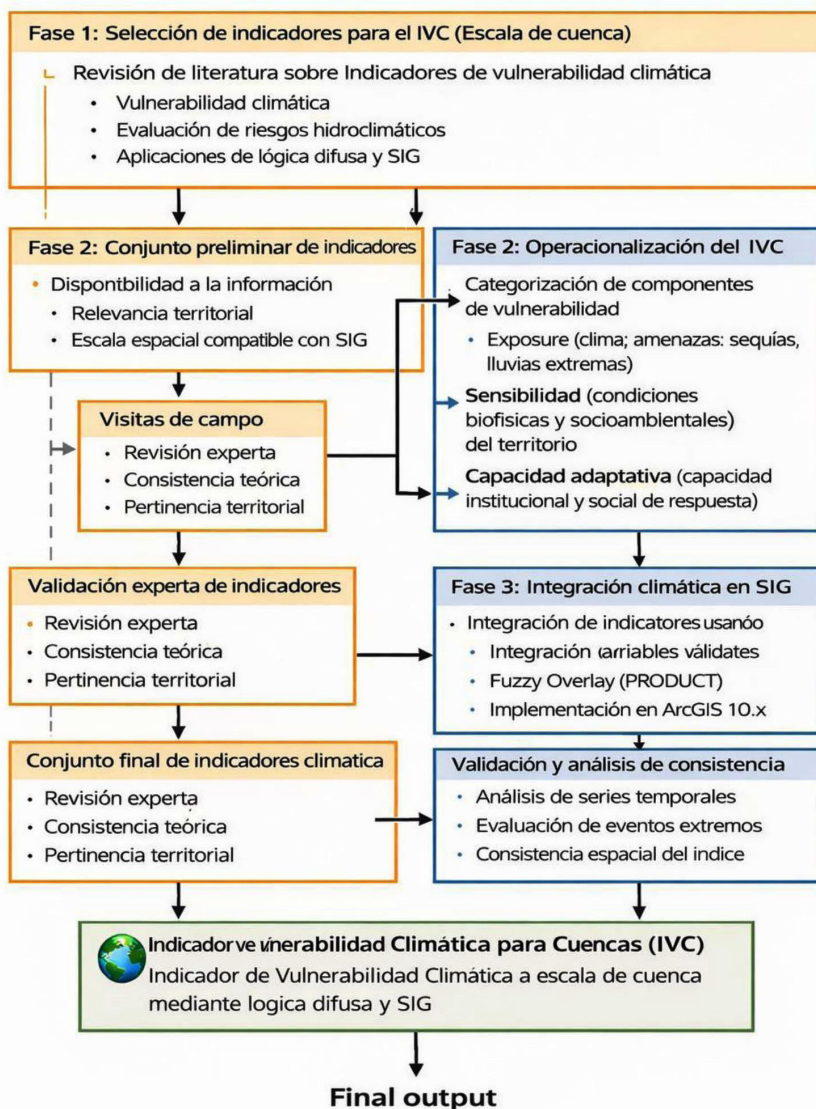
Metodología

Enfoque metodológico

La construcción del Indicador de Vulnerabilidad Climática (IVC) se desarrolló mediante un enfoque metodológico basado en lógica difusa integrada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el objetivo de evaluar espacialmente la vulnerabilidad climática a escala de cuenca hidrográfica, incorporando de manera explícita la incertidumbre y variabilidad inherentes a los sistemas socioambientales. Este enfoque se fundamenta en la capacidad de la lógica difusa para representar transiciones graduales: sus entre distintos niveles; superando las limitaciones de los enfoques deterministas tradicionales. En la figura 1 la metodología muestra un carácter integrador y replicable, permitiendo la articulación de variables ambientales, socioeconómicas y político-administrativas en un índice sintético de vulnerabilidad climática.

Figura 1. Modelo difuso propuesto para la clasificación del IVC

Esquema metodológico para la construcción de un Indicador de Vulnerabilidad Climática (IVC) a escala de cuenca mediante lógica difusa y SIG

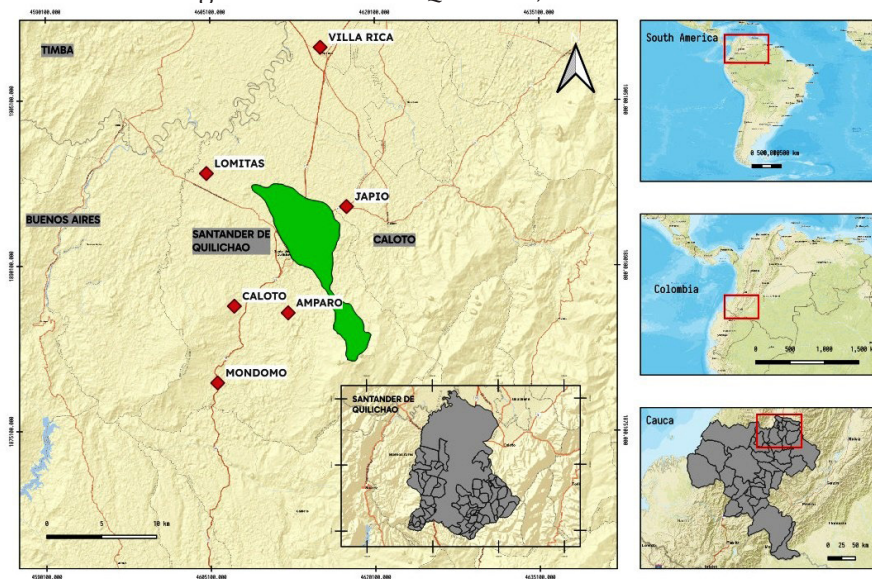


Fuente: modificada de Matich, 2001 y Nevtipilova *et al.*, 2014.

Área de estudio y escala de análisis

El análisis se realizó a escala de la cuenca del río Quilichao, localizada en el departamento del Cauca, Colombia; seleccionada por su alta exposición a eventos climáticos extremos y presión socioeconómica que enfrenta. La cuenca representada en la figura 2, es considerada como la unidad de análisis territorial dado su carácter funcional para la gestión del recurso hídrico y planificación ambiental frente al cambio climático. Todas las variables fueron procesadas y analizadas en un entorno SIG, garantizando la coherencia espacial y compatibilidad entre capas temáticas mediante la estandarización de sistemas de referencia y resolución espacial.

Figura 2. Cuenca río Quilichao, Cauca Colombia



Fuente: elaboración propia.

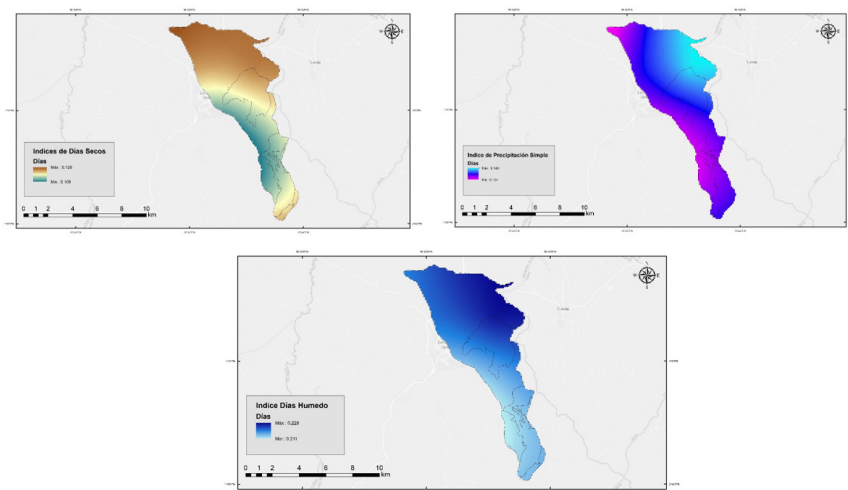
Selección y clasificación de variables

El IVC se estructuró a partir de la integración de tres dimensiones principales de la vulnerabilidad climática, de acuerdo con el marco conceptual adoptado, con el fin de ilustrar la naturaleza espacial de las variables utilizadas en la construcción del Indicador de Vulnerabilidad Climática. La figura 3 presenta ejemplos de la representación cartográfica de algunos de los indicadores empleados como variables de entrada del modelo. Estos ejemplos corresponden a variables climáticas derivadas de series históricas de precipitación que per-

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CLIMÁTICA MEDIANTE LÓGICA DIFUSA Y SIG A ESCALA DE CUENCAS EN COLOMBIA

miten evidenciar el tipo de insumos geospaciales posteriormente integrados mediante la lógica difusa en el entorno SIG.

figura 3. Ejemplo de representación espacial de variables de entrada utilizadas en la construcción del Indicador de Vulnerabilidad Climática (IVC)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de estaciones meteorológicas de la cuenca del río Quilichao (1981–2023).

Variables ambientales

Se seleccionaron indicadores climáticos asociados a la ocurrencia de eventos extremos, particularmente sequías y lluvias intensas. Entre éstos se incluyen:

- Índice de Precipitación Simple (SPI)
- Índice de Días Secos (SDI)
- Índice de Precipitación Total
- Índice de Precipitación Mensual Máxima

Estos índices fueron calculados a partir de una serie histórica de precipitación y temperatura correspondientes al período 1981–2023, obtenidas en las estaciones meteorológicas Amparo, Mondomo, Japio, Caloto, Villarica y Lomitas y procesadas mediante el algoritmo KSSA (*Komolgorov-Smirnov Singular Spectrum Analysis*) que implementa una técnica utilizada para analizar series temporales no lineales y no estacionarias.

Variables socioeconómicas

Con el fin de representar la vulnerabilidad social y económica de la población, se incorporaron variables relacionadas con la capacidad de adaptación de los habitantes de la cuenca, entre ellas:

- Densidad poblacional
- Cobertura de energía eléctrica
- Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)

Esta información se obtiene a partir de los censos nacionales del Departamento Nacional de Estadística de Colombia (DANE) y bases de datos socioeconómicas oficiales correspondientes al municipio de Santander de Quilichao; garantizando su consistencia temporal y espacial.

Variables político-administrativas

La dimensión político-administrativa se incluyó para capturar la capacidad institucional de respuesta y adaptación frente al cambio climático. Por ello, se consideran los siguientes indicadores:

- Inversión pública per cápita en el sector ambiental
- Índice de Desempeño Integral Municipal
- Índice de Capacidad Administrativa (ICA)

Estos indicadores obtenidos de reportes gubernamentales oficiales permiten evaluar el nivel de gestión institucional y gobernanza ambiental en el territorio analizado.

Preprocesamiento de la información geoespacial

Las variables seleccionadas fueron sometidas a un proceso de preprocesamiento en ambiente SIG que incluyó la corrección geométrica, la reproyección de un sistema de coordenadas común y la conversión a formato ráster cuando fue necesario. Este procedimiento permitió garantizar la homogeneidad espacial de los datos y su adecuada integración en el modelo difuso. Las presentes capas temáticas fueron estandarizadas por la resolución espacial común, evitando inconsistencias derivadas de las diferentes escalas; facilitando la aplicación de las funciones de membresía difusa.

Aplicación de la lógica difusa

La lógica difusa fue aplicada con la finalidad de gestionar la incertidumbre y variabilidad inherente en las variables ambientales, socioeconómicas y político-administrativas. Una fue transformada en un conjunto difuso mediante

la asignación de grados de pertenencia en el intervalo continuo $[0,1]$, donde valores cercanos a 0 representan baja vulnerabilidad y valores cercanos a 1 indican alta vulnerabilidad. La definición de las funciones de membresía se realizó considerando el comportamiento teórico de cada variable frente a la vulnerabilidad climática, permitiendo representar transiciones suaves entre categorías y evitando clasificaciones rígidas.

Integración difusa y construcción del IVC

La integración de las variables difusas se llevó a cabo utilizando la herramienta *Fuzzy Overlay* del software ArcGIS (versión 10.x), específicamente mediante el operador *Product*; el cual permite modelar la interdependencia entre los factores de vulnerabilidad. Este operador reduce compensación excesiva entre las variables, proporcionando una estimación más conservadora y holística de la vulnerabilidad climática. De esta manera, el proceso de integración se realizó de forma jerárquica, combinando primero las variables dentro de cada dimensión y posteriormente integrando las tres dimensiones en un índice sintético final, correspondiente al Indicador de Vulnerabilidad Climática (IVC).

Implementación en SIG y generación de productos cartográficos

La implementación del modelo difuso se desarrolló íntegramente en un entorno SIG, lo que permitió automatizar los procesos de cálculo, gestionar eficientemente la información geoespacial y generar productos cartográficos orientados a la interpretación territorial. El uso de SIG facilitó la visualización espacial de la vulnerabilidad climática e identificación de patrones territoriales relevantes para la gestión ambiental y la planificación.

Validación metodológica

La validación del enfoque se abordó desde una perspectiva metodológica, evaluando la coherencia interna del modelo y consistencia conceptual del IVC frente a los gradientes ambientales como socioeconómicos del territorio. Este proceso permitió verificar que el modelo responde adecuadamente a las condiciones de la cuenca y que la lógica difusa constituye un marco analítico adecuado para la evaluación de la vulnerabilidad climática.

Resultados

Desde una perspectiva metodológica, los resultados obtenidos se alinean con hallazgos recientes que destacan la capacidad de los modelos difusos para estructurar evaluaciones de vulnerabilidad climática consistentes y conceptualmente sólidas. Aplicaciones similares han demostrado que la integración de componentes ambientales, socioeconómicos e institucionales mediante ló-

gica difusa permite construir índices robustos, sensibles a la heterogeneidad territorial adecuados para su uso en proceso de análisis comparativo y planificación (Pérez-Ortiz *et al.*, 2025; Moragues *et al.*, 2025). En este sentido, el marco propuesto se inscribe dentro de una línea de investigación actual que prioriza la coherencia metodológica y la transferibilidad del conocimiento.

Resultados del enfoque teórico-metodológico propuesto

La aplicación del marco teórico y metodológico basado en la integración de lógica difusa y Sistemas de Información Geográfica permitió estructurar de manera coherente un esquema de evaluación de la vulnerabilidad climática a escala de cuencas hidrográficas. Desde una perspectiva conceptual, el principal resultado del capítulo radica en la consolidación de un enfoque que reconoce la vulnerabilidad climática como un fenómeno continuo, multidimensional y espacialmente heterogéneo; superando los enfoques tradicionales basados en clasificaciones rígidas y umbrales deterministas.

El modelo propuesto demostró que la lógica difusa constituye una herramienta adecuada para representar la gradualidad inherente a los procesos climáticos y socioambientales, permitiendo integrar variables de distinta naturaleza bajo un marco analítico común. Este resultado metodológico es especialmente relevante en contextos territoriales complejos como las cuencas hidrográficas colombianas donde las interacciones entre clima, sociedad y gobernanza no responden a relaciones lineales ni discretas.

Resultados de la operacionalización conceptual de la vulnerabilidad climática

Desde el punto de vista metodológico, la descomposición de la vulnerabilidad climática de componentes ambientales, socioeconómicos y político-administrativos permitió estructurar el análisis de forma jerárquica y conceptualmente consistente. Este enfoque facilitó la traducción de conceptos abstractos como la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa en variables operativas susceptibles de ser integradas en entornos SIG.

La operacionalización del índice mediante procesos de normalización y fuzzificación permitieron representar las variables como conjuntos difusos, evitando la pérdida de información asociada a procesos de discretización temprana. Como resultado, el marco metodológico logra capturar transiciones graduales entre distintos niveles de vulnerabilidad, lo que refuerza su pertinencia para estudios territoriales orientados a la planificación y gestión del riesgo climático.

Resultados del uso de funciones de membresía y reglas difusas

El empleo de funciones de membresía trapezoidales y gaussianas evidenció la flexibilidad del enfoque difuso para modelar comportamientos diferenciados

de las variables que componen la vulnerabilidad climática. A nivel conceptual, este resultado confirma que la lógica difusa permite representar adecuadamente tanto variables con rangos bien definidos como aquellas caracterizadas por alta incertidumbre y variabilidad espacial.

Asimismo, la definición de reglas difusas y la aplicación de operadores de agregación posibilitaron su integración coherente de múltiples indicadores sin privilegiar de forma arbitraria el único componente de su vulnerabilidad. Este aspecto constituye un resultado metodológico clave ya que garantiza como resultado el índice que responde a la interacción conjunta de los factores ambientales, sociales e institucionales, en lugar de la dominancia de una sola dimensión.

Resultados de la integración espacial mediante SIG

La integración del enfoque difuso en un entorno SIG permitió consolidar una estructura metodológica reproducible y escalable para la evaluación de la vulnerabilidad climática. Desde una perspectiva teórica, el uso de SIG como plataforma de integración espacial refuerza la capacidad del modelo para incorporar la dimensión territorial como un elemento central del análisis y, no únicamente, como un soporte cartográfico.

Este resultado evidencia que la combinación de lógica difusa y SIG no solo facilita la generación de productos espaciales, sino que también fortalece la interpretación territorial de la vulnerabilidad climática; permitiendo su aplicación en procesos de ordenamiento territorial, gestión ambiental y formulación de políticas públicas.

Resultados de la validación conceptual del índice

La incorporación de procedimientos de validación metodológica, como el análisis de estacionariedad de las series climáticas y la consideración de eventos extremos, permitió reforzar la coherencia interna del marco propuesto. Aunque estos procesos no se presentan desde una perspectiva cuantitativa o cartográfica, su inclusión en la estructura metodológica garantiza el índice de la dinámica climática real del territorio.

En este sentido, el resultado principal no es un valor específico de vulnerabilidad, sino la consolidación de un enfoque metodológico robusto, capaz de adaptarse a diferentes contextos espaciales y temporales como servir de base también para un análisis empírico más detallado en investigaciones posteriores.

Síntesis de los resultados metodológicos

En conjunto, los resultados del capítulo evidencian el marco teórico y metodológico propuesto como una herramienta sólida para la evaluación de la

vulnerabilidad climática a escala de cuencas. La integración de lógica difusa y SIG permite abordar la complejidad, incertidumbre y multidimensionalidad del fenómeno; ofreciendo una alternativa metodológica pertinente para contextos latinoamericanos caracterizados por alta variabilidad climática y heterogeneidad territorial.

Estos resultados sientan las bases para el desarrollo de aplicaciones empíricas específicas y profundizan en el análisis espacial de la vulnerabilidad climática; aspectos que se abordan en trabajos científicos complementarios derivados de este marco metodológico.

Conclusiones

La consistencia del marco teórico y metodológico presentado se ve reforzado por la convergencia de investigaciones recientes que abordan la vulnerabilidad climática desde enfoques integradores y espacialmente explícitos. La literatura actual subraya que los modelos basados en lógica difusa y SIG ofrecen una base sólida para el desarrollo de evaluaciones replicables, capaces de adaptarse a distintos contextos hidrográficos sin perder rigor científico (Martínez *et al.*, 2023; Tanim *et al.*, 2023). Esta convergencia confirma el enfoque desarrollado en este capítulo; alineado con las tendencias contemporáneas de investigación en análisis territorial y gestión del riesgo climático.

El desarrollo del presente capítulo permitió consolidar un marco teórico y metodológico científicamente sólido para la evaluación de la vulnerabilidad climática a escala de cuencas, sustentado en la integración de la lógica difusa y los Sistemas de Información Geográfica. Este enfoque se fundamenta en una comprensión avanzada de la vulnerabilidad como un fenómeno complejo, continuo y multicausal; cuya adecuada representación exige metodologías capaces de incorporar la incertidumbre, la gradualidad y la heterogeneidad espacial propias de los sistemas socioambientales.

Desde el punto de vista académico, el capítulo aporta una estructuración conceptual rigurosa que articula los principales componentes de la vulnerabilidad climática exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa dentro de un esquema analítico coherente al mismo tiempo operativo. La lógica difusa se consolida no solo como una herramienta computacional, sino como un marco epistemológico que permite traducir categorías teóricas en procesos analíticos consistentes, evitando simplificaciones excesivas que justifican la integridad conceptual del fenómeno estudiado.

En el ámbito metodológico, la integración de la lógica difusa con plataformas SIG representa un aporte relevante para los estudios territoriales contemporáneos, al permitir la construcción de modelos espaciales reproducibles y escalables. El enfoque propuesto se caracteriza por claridad procedimental que facilita su replicación en otras cuencas hidrográficas, tanto en Colombia como en contextos similares de América Latina; siempre que disponga de in-

formación básica compatible y respete los principios conceptuales aquí desarrollados.

Un aspecto central del marco presentado es su capacidad de adaptación a diferentes escalas y realidades territoriales sin perder consistencia metodológica. La selección flexible de indicadores, la normalización de variables y aplicación de funciones de membresía permiten a este modelo adaptarse a los distintos contextos climáticos, sociales e institucionales que refuerza su utilidad como herramienta de análisis comparativo y soporte para procesos de planificación lo mismo que gestión ambiental.

Asimismo, la incorporación de criterios de validación conceptual, vinculados a la dinámica climática y consistencia interna del índice, fortalece su carácter científico de enfoque y lo diferencia de ejercicios meramente descriptivos. Este énfasis metodológico garantiza que los resultados derivados del marco no dependan exclusivamente de decisiones técnicas puntuales, sino de una estructura, coherente y fundamentada.

En conjunto, el capítulo ofrece una contribución metodológica replicable y transferible al campo de los estudios de vulnerabilidad climática, alineada con las tendencias actuales de investigación en geociencias, análisis territorial y gestión del riesgo. Más que presentar resultados empíricos cerrados, este trabajo establece la base conceptual y metodológica robusta que puede ser aplicada, contrastada y perfeccionada en investigaciones futuras; fortaleciendo el diálogo científico y académico en torno a los retos que plantea el cambio climático.

Bibliografía

- Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B., y Blaschke, T. (2020). GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire risk mapping using fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(7), 1201–1223. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1635420>
- Akbari, M., Feizizadeh, B., y Blaschke, T. (2019). Spatial analysis of urban growth patterns using fuzzy logic and multi-criteria decision analysis. *Sustainability*, 11(20), 5578. <https://doi.org/10.3390/su11205578>
- Aliaga-Samanez, A., Martínez-Arias, A., y Salcedo-Hurtado, E. J. (2024). Aplicación de modelos difusos para la evaluación del riesgo de enfermedades sensibles al clima en contextos territoriales complejos. *Revista de Salud Ambiental*, 24(1), 45–60.
- Bressane, A., Garcia, A. J. D. S., Castro, M. V. D., Xerfan, S. D., Ruas, G., y Negri, R. G. (2024). Fuzzy machine learning applications in environmental engineering: Does the ability to deal with uncertainty really matter? *Sustainability*, 16(11), 4525.
- Bruzón, A. G., Martín-Duque, J. F., y Pedraza, J. (2024). Automated landslide vulnerability mapping using fuzzy logic and GIS techniques. *Natural Hazards*, 118(2),

- 1191–1210. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06014-7>
- Bubeck, P., Wouter Botzen, W. J., y Aerts, J. C. J. H. (2014). A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. *Risk Analysis*, 32(9), 1481–1495. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01783.x>
- Cardone, B., D'Ambrosio, V., Di Martino, F., y Miraglia, V. (2024). Hierarchical Fuzzy MCDA Multi-Risk Model for Detecting Critical Urban Areas in Climate Scenarios. *Applied Sciences*, 14(7), 3066. <https://doi.org/10.3390/app14073066>
- Das, U., et al. (2024). *Geospatial assessment of ecological vulnerability of fragile*. Geocarto International. <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2330529>
- Feizizadeh, B., y Blaschke, T. (2013). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: Comparing three methods for the Urmia Lake Basin, Iran. *Natural Hazards*, 65(3), 2105–2128. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0463-5>
- Franco, L., y Tarquino, J. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad ambiental en microcuencas andinas mediante lógica difusa. *Revista Colombiana de Geografía*, 27(2), 85–101. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.67345>
- Golondrino, J., Salcedo-Hurtado, E. J., y Muñoz, D. A. (2023). Evaluación del riesgo de inundaciones mediante lógica difusa y SIG en la cuenca del río Magdalena, Colombia. *Ingeniería y Desarrollo*, 41(1), 45–63.
- Halder, A., et al. (2023). "Identifying factors affecting irrigation metrics in the Haor basin using robust entropy-weighted water quality index (EWQI) and fuzzy logic (FIWQI)". *Science of The Total Environment*, 879, 163229.
- Hagenlocher, M., Meza, I., Anderson, C., y Min, A. (2018). Drought vulnerability and risk assessments: State of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environmental Research Letters*, 13(8), 083002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac912>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Juvanhol, R. S., Gleriani, J. M., y Ribeiro, C. A. A. S. (2021). Forest fire risk mapping using fuzzy logic and geospatial techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 291. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09079-2>
- Malczewski, J., y Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Malmir, M., Feizizadeh, B., y Blaschke, T. (2021). Spatial modeling of environmental vulnerability using fuzzy logic and GIS-based multi-criteria decision analysis. *Ecological Indicators*, 125, 107555. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107555>
- Martínez, A., Herrera, M., de la Cruz, J. L., y Orozco, I. (2023). Coupled model for assessing the present and future watershed vulnerabilities to climate change impacts. *Water*, 15(4), 711. <https://doi.org/10.3390/w15040711>
- Moragues, A., Estrany, J., y Ruiz-Pérez, M. (2025). Assessment of social vulnera-

- bility to floods based on fuzzy logic in a Mediterranean dense urban area: Palma, Mallorca, Spain. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105594>
- Niaz, U., Shahid, S., Ismail, T., y Chung, E.-S. (2023). Assessment of climate change vulnerability using fuzzy logic approach: A case study of the Upper Indus Basin. *Science of the Total Environment*, 858, 159776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159776>
- Nikolova, N., Velcheva, I., y Kamburova, M. (2021). Fuzzy logic-based drought vulnerability assessment integrating climatic and socio-economic indicators. *Water Resources Management*, 35(6), 1767–1785. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02810-3>
- Nobre, R. C. M., Rotunno Filho, O. C., Mansur, W. J., Nobre, M. M. M., y Cosenza, C. A. N. (2007). Groundwater vulnerability assessment using fuzzy logic. *Environmental Management*, 39(2), 236–247. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0094-9>
- Opiyo, S. B., Letema, S., y Opinde, G. (2024). Characterizing rural households' livelihood vulnerability to climate change and extremes in Migori river watershed, Kenya. *Climate and Development*, 16(6), 471–489. <https://doi.org/10.1080/17565529.2023.2243612>
- Ortega Sandoval, J., Martínez-Arias, A., y Muñoz, D. A. (2023). Evaluación de la viabilidad de sistemas de drenaje urbano sostenible mediante lógica difusa y SIG. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 17(2), 33–49.
- Oyounalsoud, M. S., Abdallah, M., Yilmaz, A. G., Siddique, M., y Atabay, S. (2023). A new meteorological drought index based on fuzzy logic: development and comparative assessment with conventional drought indices. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129306>
- Pautz, C., Santos, A. R. D., Ferrari, J. L., Guerra Filho, P. A., Kunz, S. H., Dias, H. M., ... y Marin Scaramussa, L. (2023). Mapping the environmental vulnerability of a lagoon using fuzzy logic and the AHP method. *Water*, 15(11), 2102.
- Pérez-Ortiz, M. A., Vargas-Franco, V., y Rosero-Portilla, D. F. (2025). Development of a climate vulnerability index for community aqueducts in tropical Andean watersheds using fuzzy logic: an application in Colombia. *Natural Hazards*, 121(18), 21059–21095
- Pérez-Ortiz, M. A., Vargas-Franco, V., y Rosero-Portilla, D. F. (2025). Development of a climate vulnerability index for community aqueducts in tropical Andean watersheds using fuzzy logic: an application in Colombia. *Natural Hazards*, 121, 21059–21095. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07603-7>
- Qasem, S. N., Samani, A. N., y Feizizadeh, B. (2019). Drought risk assessment using fuzzy logic and remote sensing techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(18), 560. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4743-9>
- Saatchi, S. (2024). Fuzzy Logic Concepts, Developments and Implementation. *Entropy*, 25(10), 656

- Schaefer, M., Thinh, N. X., y Caduff, M. (2020). Fuzzy logic-based assessment of climate resilience using GIS. *Sustainability*, 12(4), 1526. <https://doi.org/10.3390/su12041526>
- Tanim, A. H., *et al.* (2023). Toward an Integrated Probabilistic Coastal Vulnerability. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2022WR033603>
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., y Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Vargas-Franco, J., y Restrepo-Tarquino, J. (2018). Aplicación de inteligencia artificial y lógica difusa para la evaluación de la vulnerabilidad climática en cuencas andinas. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 20(2), 67–81.
- Vaz, L. A. V., Filgueira, H. J. A., Rosendo, E. E. Q., da Silva, R. M., y Santos, C. A. G. (2025). A novel integration of analytic hierarchy process and fuzzy logic to evaluate drought vulnerability in a semiarid region. *Socio-Economic Planning Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2025.102221>
- Yang, R., y Lieske, S. N. (2025). Assessing climate change vulnerability and its implications for ecosystem service provision: a spatial modelling case study in Queensland, Australia. *Australian Geographer*, 1-38.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Capítulo 3. Morfología Territorial del Valle de Sula, Honduras

CELINA MICHELLE SOSA CABALLERO ¹

Introducción

A pesar de la relevancia del Valle de Sula en el contexto nacional, no ha sido estudiado como una unidad territorial y geomorfológica. Su planificación ha carecido de un enfoque integral como de intervenciones realizadas mayormente sectoriales; por ello, los estudios más recientes disponibles se han llevado a cabo a nivel municipal. Por ejemplo, el Informe Plan Municipal de riesgos y Propuestas de Zonificación Territorial abarca los municipios de Tela, Choloma, Villa Nueva, Pimienta, Potrerillos, Puerto Cortés, San Pedro Sula, San Manuel, La Lima, Las Vegas, el Negrito, el Progreso, Santa Rita y Santa Cruz de Yojoa (PGRD - COPECO, 2017). Otros documentos incluyen Bases para la Incorporación de la Gestión del Riesgo de Desastres en la Planificación del Municipio de Puerto Cortes (World Bank, 2018) así como el Plan de Desarrollo Regional con enfoque de Ordenamiento Territorial – Región 01 Valle de Sula (Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa, 2014). Además, estudios sectoriales como el diagnóstico específico sobre la Situación de Seguridad Alimentaria y Nutricional en la Región 01 Valle de Sula (ANED Consultores, s.f.), la Industria Maquiladora de Exportación y el Territorio en Honduras: El Caso de Choloma y Villanueva (DELGADO ELVIR, 2011); los cuales incluyen análisis geomorfológicos enfocados en la evaluación de amenazas como inundaciones y deslizamientos a nivel municipal.

La carencia de integralidad del Valle de Sula como una unidad geomorfológica completa ha generado polémica ya que su ocupación desordenada en las llanuras de inundación activa y el diseño de obras civiles ignoran la forma que contiene el valle. Esto se debe a que no se considera la dinámica natural del relieve convirtiéndose en desastres recurrentes que impactan en la seguridad física y económica de los municipios. La desarticulación entre la

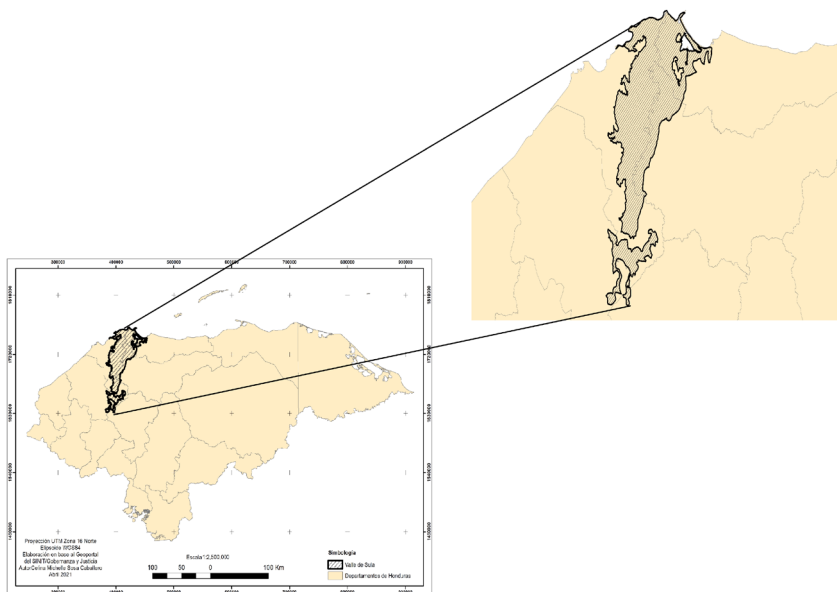
¹ Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras.

realidad geomorfológica y planificación territorial incrementa su vulnerabilidad socionatural en la región.

Área de estudio

El Valle de Sula abarca veinte municipios distribuidos en los departamentos de Atlántida, Cortés, Santa Bárbara (Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa, 2014). Su extensión geográfica comprende 7,875km² (ANED Consultores, s.f.). Se encuentra ubicado en la zona noroccidental de Honduras, conformado por cuencas hidrográficas de los ríos Ulúa y Chamelecón (Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa, 2014) (Figura 1).

Figura 1. Ubicación Geográfica del Valle de Sula



Fuente: elaboración Propia.

Marco Teórico – Conceptual

El análisis del Valle de Sula requiere un enfoque multidisciplinario basado en Ciencias de la Tierra, la geomorfología y geología aplicada. En esta sección se encontramos los principales conceptos teóricos que fundamentan el estudio, abordando los procesos geológicos relevantes y su impacto en la planificación territorial.

Ciencia de la Tierra

El estudio de la Tierra abarca su origen, evolución y composición, siendo un campo interdisciplinario. Las disciplinas que conforman este ámbito científico están estrechamente relacionadas con el desarrollo sostenible, la prevención de riesgos geológicos, la hidrología, la geología y la geografía; todas enfocadas a la conformación y dinámica terrestre.

La perspectiva geológica, rama fundamental de las Ciencias de la Tierra, analiza dos procesos clave: los riesgos naturales y recursos. El riesgo geológico es la interacción entre procesos naturales propios de la dinámica terrestre y la presencia de asentamientos humanos expuestos a sus efectos (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Sin embargo, en la actualidad se reconoce que el concepto ha evolucionado al riesgo socionatural. Que se entiende como una construcción social en la que la actividad humana y las presiones que se viven en el entorno contribuyen directamente a la generación de condiciones de riesgos (Baró Suárez & Monroy Gaytán, 2018)

Por otro lado, los recursos representan el eje central de la geología con un alto valor práctico para la sociedad. Esto incluye el agua, diversos minerales metálicos y no metálicos, así como fuentes de energía. En conjunto, constituyen la base del desarrollo de la civilización moderna (Tarbuck & Lutgens, 2005).

El Origen de la Forma

Las principales estructuras geológicas asociadas con la deformación son los pliegues, las fallas, las diaclasas y la foliación. Las diaclasas son fracturas en las rocas que no presentan desplazamientos de los bloques involucrados, salvo una mínima separación transversal. En contraste, la foliación es la disposición en láminas que adquieren ciertas rocas cuando se someten a grandes presiones (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Análisis Morfoestructural y Geodinámica Aplicada

En la investigación EvulcaRED, la evaluación del riesgo y la vulnerabilidad geológica se incorpora de manera integral el análisis de las redes hidráulicas (Fernández-Lozano, Carrasco, de Pedraza, Sanz-Ablanedo, & Rodríguez-Pérez, 2024). Con relación al Valle de Comayagua la configuración morfológica de los ríos Ulúa y Chamelecón trasciende su condición de simple rasgo físico ya que responde a una dinámica natural continua que, cuando converge con la ocupación humana del territorio, determina los niveles de riesgo geológico presentes.

En la investigación de Fernández-Lozano y otros (2024) habla de geodinámica interna sostienen que las formas de relieve reflejan la acción de esfuerzos tectónicos aún activos. Con esta perspectiva, el sistema de graben (estructura al Valle de Sula) debe interpretarse como un elemento en permanente evolución, donde la presencia de fallas, pliegues y sistemas de fracturación en las sierras adyacentes son evidencia de un control tectónico persistente que condiciona tanto la morfogénesis como su transformación actual del paisaje.

Causas que Originan la Forma de la Tierra

Según Marrero (1987), la forma del relieve de un valle es el resultado de la interacción que existe entre la fuerza de la gravedad y la plasticidad de las rocas, las cuales permiten que los materiales terrestres respondan de forma dinámica a las tracciones internas y externas. La gravedad actúa como un agente rector del movimiento de masa y flujo de materiales, la plasticidad de las rocas que condiciona la forma en como el relieve se deforma, ajusta y evoluciona a lo largo del tiempo.

Las Formas del Relieve

El relieve terrestre es dinámico debido a la acción de diversas fuerzas físicas que lo modelan. Entre ellos se encuentran el viento, la erosión y el agua; los cuales desempeñan un papel clave en la transformación del paisaje (Marrero, 1987).

Las principales fuerzas responsables de la formación del relieve son el diastrofismo y el vulcanismo. El diastrofismo abarca movimientos y deformaciones de la corteza terrestre, incluyendo los plegamientos y las fallas. Como resultado de su acción han surgido diversas formas de relieve como llanuras costeras e interiores, mesetas y montañas. Por otro lado, el vulcanismo, además de estar asociado con la formación de volcanes, comprende fenómenos relacionados con movimientos de rocas en estado de fusión. Entre las principales formas del relieve creadas por el vulcanismo se encuentran las montañas de domo, generadas por intrusiones ígneas, los conos volcánicos, así como llanuras y mesetas de lava (Marrero, 1987).

La Forma de un Valle

Relieve de Llanuras

El relieve de una llanura se caracteriza por su superficie casi horizontal con ligeras irregularidades. La mayoría de las llanuras se encuentran a baja altitud respecto al nivel del mar. Según su origen, existen distintos tipos de llanuras:

- Llanuras aluviales, formadas por depósitos de sedimentos transportados por los ríos.
- Llanuras de origen marino, que corresponden a antiguos fondos de mares o lagos.
- Penillanuras, resultado de la acción prolongada de la erosión sobre el relieve (Marrero, 1987).

Asimismo, los valles pueden clasificarse en función de su origen geológico:

- Valles fluviales, modelados por la acción erosiva de los ríos.
- Valles aluviales, formados por acumulación de sedimentos debido a inundaciones.
- Valles glaciares, esculpidos por la acción de los glaciares a lo largo del tiempo (Marrero, 1987).

Valles Fluviales

Según Rosgen, D. L. (1994), un valle está conformado por un cauce de río, la planicie de inundación activa y abandonada; delimitado por montañas o colinas cercanas. Su formación involucra diversos procesos como meteorización, erosión y movimientos tectónicos, los cuales están condicionados por la litología, es decir, el tipo de roca que conforma su estructura geológica. Asimismo, la resistencia de los suelos influye en la velocidad y alcance de la erosión (Universidad del Cauca, s.f.).

Perfil Transversal

El perfil transversal es una representación geométrica perpendicular al eje del cauce, el cual permite analizar la morfometría y evolución del valle fluvial. En los escenarios de crecida extraordinaria, cuando el cauce excede la capacidad de conducción del canal principal, la corriente se extiende lateralmente sobre la llanura de inundación activa. Las geoformas deposicionales son el resultado de la dinámica fluvial recurrente que actúan como regulación hídrica. Los flancos del valle se elevan hasta alcanzar las divisorias de agua o crestas montañosas, que definen los límites del sistema hídrico y separan la cuenca central de las vertientes laterales. La disposición de las paredes varía según el grado de evolución y control litológico del relieve; en los sistemas jóvenes, las vertientes pueden aproximarse directamente con el lecho del río, mientras que, en valles con mayor evolución, el Valle de Sula predomina amplias planicies aluviales que reflejan su predominio del ensanchamiento lateral sobre la incisión vertical (Universidad del Cauca, s.f.).

Incisión y Ensanchamiento

Las formas geomorfológicas de los valles fluviales es el resultado de la dinámica constante entre la incisión vertical y la expansión lateral. Con el tiempo,

muchos procesos geodinámicos actúan de manera conjunta para profundizar y ensanchar estas estructuras; sin embargo, su registro de transformación se desvanece con el tiempo geológico (Universidad del Cauca, s.f.).

Si bien la erosión lineal de una corriente fluvial tiende a profundizar el lecho en busca de su nivel base, esto no ocurre de forma aislada. El desarrollo de los flancos del valle responde a su ciclo morfodinámico donde interactúan simultáneamente la meteorización, el escurrimiento superficial y los movimientos de masa. Estos agentes exógenos provocan el desgaste y retroceso de las paredes del valle hacia arriba y el exterior. Bajo la influencia de la gravedad, el material desprendido es conducido hacia el cauce principal, transportado por una red hídrica hacia los depósitos oceánicos. Como consecuencia, el valle experimenta un ensanchamiento progresivo que define su perfil transversal característico, alejándolo de su forma de garganta abrupta inicial (Universidad del Cauca, s.f.).

Metodología

Alcance de Estudio

La investigación “Morfología Territorial del Valle de Sula, Honduras, 2021” es un estudio cualitativo con un enfoque descriptivo de corte transversal, ya que se realiza una caracterización de la forma del Valle de Sula en un momento específico de tiempo. Su análisis se enfoca en los elementos físicos naturales del territorio incluyendo:

- El perímetro de la parte plana del valle.
- Las montañas que lo rodean. El perímetro de la parte alta de esas montañas.
- La clasificación general de la forma del valle.

Unidad de Análisis y Población del Estudio

El universo del estudio está constituido por el Valle de Sula, mientras que la unidad de observación son los atributos físicos naturales que contribuyen a la configuración de su morfología territorial.

Método y Técnica

Para el diseño de esta metodología se tomaron como referencia diversos estudios previos en el ámbito de la geomorfología y el análisis territorial, adaptándolas a las características y objetivos de la presente investigación. Entre ellos se encuentra el Análisis arqueomorfológico y dinámica territorial en el Vallés Oriental (Barcelona) de la Protohistoria s. VI-V a.C.) a la Alta Edad Media (s. IX-X), (Floréz Santasusana, 2012). Geomorfología Fluvial en la Cabecera

del Río Nalón (Cordillera Cantábrica, Noroeste de España) (Jiménez Sánchez, 1999), Evolución Geomorfológica de los Valles Prebeticos Nororientales (Estrela, Fumanal, & Garay, 1993), Geomorfología Kárstica de la Región Galeana, Estado de Nuevo León (Huizar Álvarez & Oropea Orozco, 1989), Caracterización Morfométrica de la Cuenca Alta del Río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina (Gaspari, y otros, 2012), Geomorfología Fluvial (Universidad del Cauca, s.f.). Además de los estudios anteriormente mencionados se utilizaron los criterios ITC de Holanda para Levantamientos Geomorfológicos con el fin de sistematizar y clasificar por orden jerárquico las unidades de relieve. (Van Zuidam, 1985).

La metodología de esta investigación se estructura a partir del análisis de cuatro indicadores principales:

- Las montañas que rodean el valle
- El trazo de los ríos que lo atraviesan
- El modelo de elevación digital (DEM) del Valle
- Los perfiles topográficos

Estos análisis permitieron caracterizar y definir la morfología del Valle de Sula, con base en los parámetros teóricos correspondientes a este tipo de estructuras territoriales (Cuadro 1).

Identificación y Clasificación de Información Primaria y Secundaria

Ésta se realizó en función de las variables de estudio establecidas en la investigación; siendo, la forma de los valles, las montañas que rodea el valle y el trazo de los ríos:

- Análisis de los trazos de los ríos. Para el análisis de la categoría del trazo de los ríos se utilizó herramientas de Sistemas de Información Geográfica para visualizar y clasificar los ríos que atraviesan el Valle de Sula. El trazo de los ríos se obtuvo mediante el uso combinado de distintas fuentes cartográficas y satélites, tales como imágenes de Google Earth, datos de OpenStreerMap y la capa hidrográfica del Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT) a escala 1:50,000.
- Análisis de Barreras Naturales. A través del uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se realizó el análisis de las barreras naturales que delimitan y estructuran el Valle de Sula. Este análisis permite identificar los elementos físicos que actúan como delimitaciones naturales del valle, tales como montañas, sierras, cordilleras, entre otros.
- Elaboración de un Modelo Territorial de Elevación. Los datos obtenidos del Global 1 arc second de la NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) fueron empleados para crear el modelo de elevación

y, posteriormente, los perfiles topográficos, permitiendo una resolución espacial de aproximadamente 30 metros por píxel. El análisis geoespacial fue ejecutado mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Cuadro 1: Tipos de Valles y sus Proceso de Formación

No	Tipo Básico de Valle	Modificación	Proceso de Formación	Categoría ITC de Holanda	Técnica
1	Forma de "V"	Forma suave	Erosión vertical del río, considerable a lo largo de la pendiente superior del valle y acumulación en la pendiente baja del valle.	Relieve predominio de procesos verticales	con erosivos
		Forma aguda	Fuerte erosión vertical que puede ocurrir en áreas recientemente levantadas; sin embargo, también se considera la litología y condiciones climáticas.	Caracterizada por una incisión lineal profunda.	
2	Forma de "U"	Forma suave	Pausa antes de un período de fuerte erosión vertical seguida por erosión lateral severa que el río ha seguido la ruta de una fractura o se ha detenido sobre un sustrato de roca dura reduciendo la tasa de erosión vertical. Usualmente la forma en "U", debido al relleno parcial de sedimentos, pero también es formada por la erosión glaciár.	Valle de control tectónico con relleno aluvial	
		Forma aguda	(valle en forma de "V").	(valle en forma de "V").	
3	Cuna o Batea	Forma suave, valle amplio	Corriente concentrada en un solo canal. El poder de erosionar o la tasa de acumulación de escombros es igual o más grande que la tasa de degradación.	Llanura de inundación con procesos deposicionales dominantes	

Fuente: Universidad del Cauca, s.f y Van Zuidam, 1985.

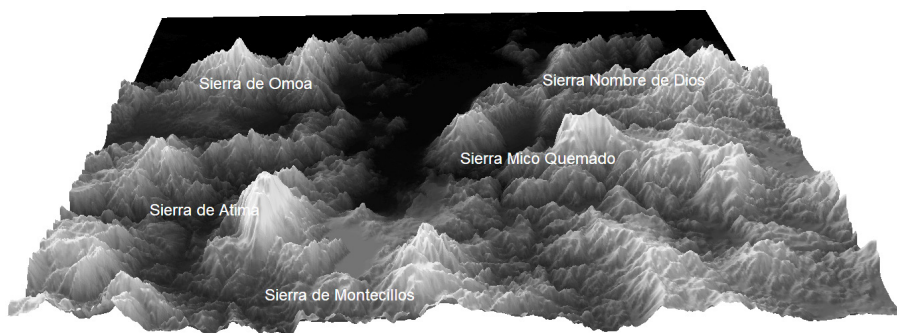
Resultados

Sierras que Rodean el Valle de Sula. Está situado entre las cordilleras del Norte y la Central. Las principales sierras que lo rodean son: la Sierra de Omoa, la Sierra Nombre de Dios, la Sierra de Atima, la Sierra de Montecillos y la Sierra de Mico Quemado (Figura 2).

Sierra de Omoa. Se localiza al noreste de la Sierra Espíritu Santo, entre los departamentos de Santa Bárbara y Cortés. Se extiende desde la montaña Guamal, al norte de Pinalejo en Santa Bárbara, hasta la llanura costera del norte, cerca de Puerto Cortés y Omoa en el departamento de Cortés (Pineda Portillo N. , 1997).

Sierra Nombre de Dios. Se localiza entre los departamentos de Yoro y Atlántida, extendiéndose hacia el departamento de Colón. Esta sierra forma parte de la cordillera del norte, la cual es interrumpida por el Valle de Sula, generando una separación natural entre la Sierra de Omoa y la sierra Nombre de Dios (Pineda Portillo N. , 1997).

Figura 2. Sierras que Rodean el Valle de Sula



Fuente: elaborado en base al Modelo de Elevación Digital del Valle de Sula.

Sierra de Atima. Se orienta en dirección suroeste – noroeste, comenzando en la montaña Joconal al norte del municipio de Leparera; en el departamento de Lempira, atravesando todo el departamento de Santa Barbara, bordeando el lado derecho del Valle de Quimistan hasta llegar cerca del municipio de Villanueva, en el Departamento de Cortés (Pineda Portillo N. , 1997).

Sierra de Montecillos. Se extiende en dirección norte – sur, atravesando el departamento de Comayagua hasta alcanzar parte de La Paz. Se localiza al occidente del Valle de Comayagua, el cual, forma parte de la Depresión Transversal de Honduras (Pineda Portillo N. , 1997).

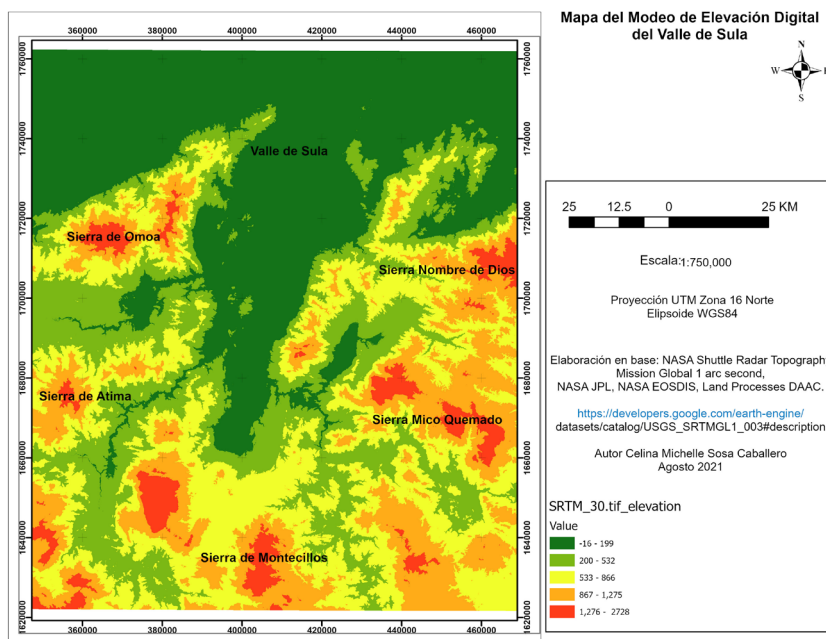
Sierra de Mico Quemado. Está localizado en el occidente del Departamento de Yoro, frente al sector oriental de la ciudad de El Progreso. Esta sierra se delimita al oeste por el valle del río Ulúa (o Valle de Sula); al sur, por el río Humuya; al este, por el Valle de Olomán, drenado por el Río Cuyamapa; y al norte, por el pequeño río Guaymas (Pineda Portillo N. , 1997).

Modelo de elevación digital del Valle de Sula

Para la elaboración del Mapa del Modelo de elevación Digital del Valle de Sula, se descargó el corte correspondiente en la plataforma Google Earth Engine. Como se mencionó anteriormente, el Valle de Sula está delimitado por la Sierra de Omoa, Sierra Nombre de Dios, Sierra de Atima, Sierra de Montecillos y Sierra de Mico Quemado.

Para facilitar la lectura del mapa, se identificaron cinco categorías de altitud. Según el cuadro 2 y figura 3, la cima de las montañas alcanza una altura de 1,267m.s.n.m. – 2,728m.s.n.m. (color rojo); en las pendientes se identifican 3 desniveles, entre 867m.s.n.m. – 1,275m.s.n.m. (color anaranjado), entre 533m.s.n.m. – 866m.s.n.m. (color amarillo) y entre 200m.s.n.m. – 532m.s.n.m. (color verde claro) y la base del valle, con una altitud entre -16m.s.n.m. – 199m.s.n.m. (color verde oscuro).

Figura 3. Mapa del Modelo de Elevación Digital del Valle de Sula



Fuente: elaboración en base al Modelo de Elevación descargado de la plataforma de Google Earth Engine.

Perfiles Topográficos del Valle de Sula

Para representar la relación entre elevación, profundidad y base del valle, se parte del modelo de elevación 3D, para crear 4 perfiles topográficos (Figura 4).

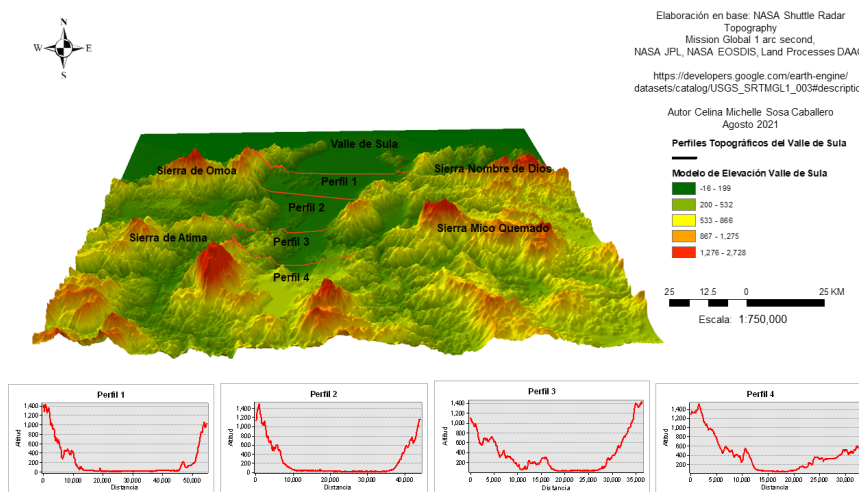
- El sector norte del valle (perfil 1 y 2) registra una amplitud de 50,000m entre los puntos altos de la sierra.
- El Sector sur del valle (perfil 3 y 4) registra una reducción de la amplitud de 35,000m.

Cuadro 2: Categorías de Altitud del Modelo de Elevación Digital del Valle de Sula

No	Color	Rango de Altitud
1		-16m.s.n.m.m. - 199m.s.n.m.m.
2		200m.s.n.m.m. - 532m.s.n.m.m.
3		533m.s.n.m.m. - 866m.s.n.m.m.
4		867m.s.n.m.m. - 1,275m.s.n.m.m.
5		1,276m.s.n.m.m. - 2,728m.s.n.m.m.

Fuente: elaboración Propia. en base al Mapa de Elevación Digital del Valle de Sula

Figura 4. Modelo de Elevación Digital en 3D y Perfiles Topográficos del Valle de Sula



Fuente: elaboración en base al Mapa del Modelo de Elevación Digital del Valle de Sula.

Al contrastar los perfiles del sector norte frente a los del sur, se observa una marcada asimetría morfológica. La distancia horizontal de hasta 50,000 m identificada en el Perfil 1 y 2 disminuye progresivamente hasta los 35,000 m en los perfiles 3 y 4. Esta variación geométrica confirma el control estructural del valle donde el encajonamiento hacia el sur refuerza la unidad de origen deposicional y estructural (graben). Esta configuración de fondo plano y pa-

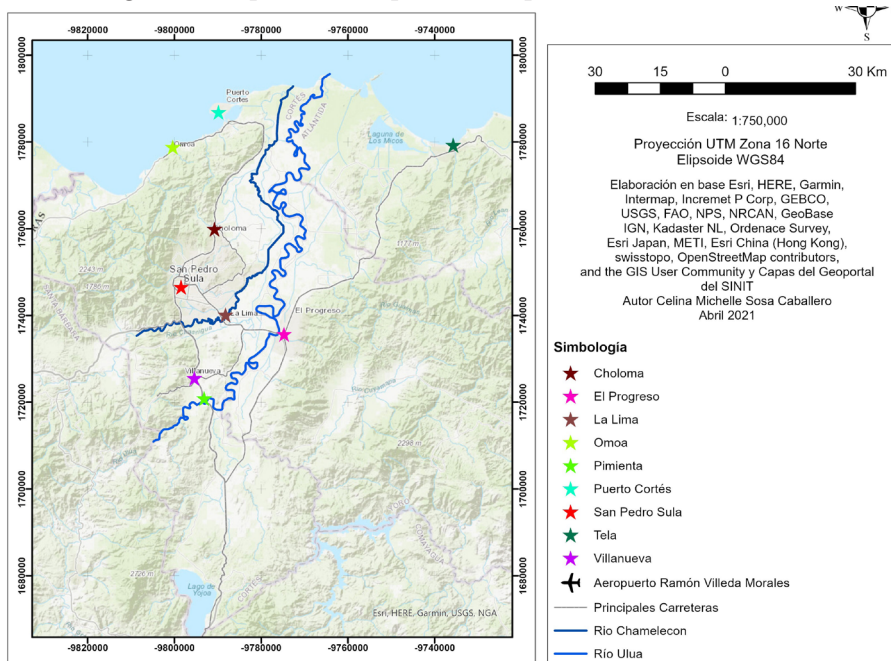
redes divergentes es lo que define técnicamente la forma en ‘U’ del Valle de Sula, diferenciándolo de los valles con incisión puramente fluvial.”

Ríos en el Valle de Sula

La dinámica de los ríos Ulúa y Chamelecón son los principales factores de la geodinámica externa en el área (Fernández-Lozano, Carrasco, de Pedraza, Sanz-Ablanedo y Rodríguez-Pérez, 2024), determina por la configuración actual del Valle de Sula desde la perspectiva morfodinámica. Estos sistemas fluviales, mediante procesos constantes de transporte y acopio de sedimentos en la llanura aluvial, han promovido el llenado paulatino del graben (Universidad del Cauca, s.f.); lo que ha ayudado a determinar y estabilizar su morfología distintiva en “U” (Pineda Portillo N., 1997).

- Río Chamelecón. Este sistema fluvial se extiende cerca de 200 km desde su nacimiento en la Sierra del Gallinero hasta su desembocadura en el Mar de las Antillas, constituye un eje vital para la configuración del relieve (Pineda Portillo N. , 1997), (Figura 5). Su régimen hidrodinámico se ve fortalecido por una extensa red hídrica secundaria y terciaria, que incluye afluentes estratégicos como los ríos Chinamito, Naco y Blanco en su margen izquierda) como el Jagua y Tápala en su margen derecha (Pineda Portillo N. , 1997) (Figura 6). Esta red de tributarios desempeña un papel determinante en la geodinámica externa, facilitando la redistribución y transporte de sedimentos hacia el sector occidental del valle, lo que incide directamente en la evolución de las llanuras de inundación activas (Universidad del Cauca, s.f.).
- Río Ulúa. El río Ulúa representa el sistema hídrico de mayor relevancia para el modelado del Valle de Sula, actuando como agente principal de la geodinámica externa en la región (Fernández-Lozano, y otros, 2024). Su curso principal alcanza una longitud de hasta 300 km al considerar el recorrido de su mayor tributario; por su parte, el río Higuito o Jicatuyo, drena una cuenca de amplitud lineal aproximadamente 225 km entre el occidente y el oriente del país. El trayecto del Ulúa se ha ajustado a la ruta estructural de la Depresión Transversal, una fosa tectónica o graben que ha guiado su trayectoria desde su origen en el río Otoro. Esta configuración geológica, sumada a la dinámica de afluentes estratégicos como los ríos Humuya, Sulaco y Blanco (Pineda Portillo N., 1997) (Figuras 5 y 6), ha favorecido procesos de ensanchamiento lateral por encima de la incisión vertical, permitiendo el relleno aluvial masivo que define técnicamente la forma en “U” de esta unidad territorial (Universidad del Cauca, s.f.).

Figura 5. Mapa de Principales Ríos que Cruzan el Valle de Sula



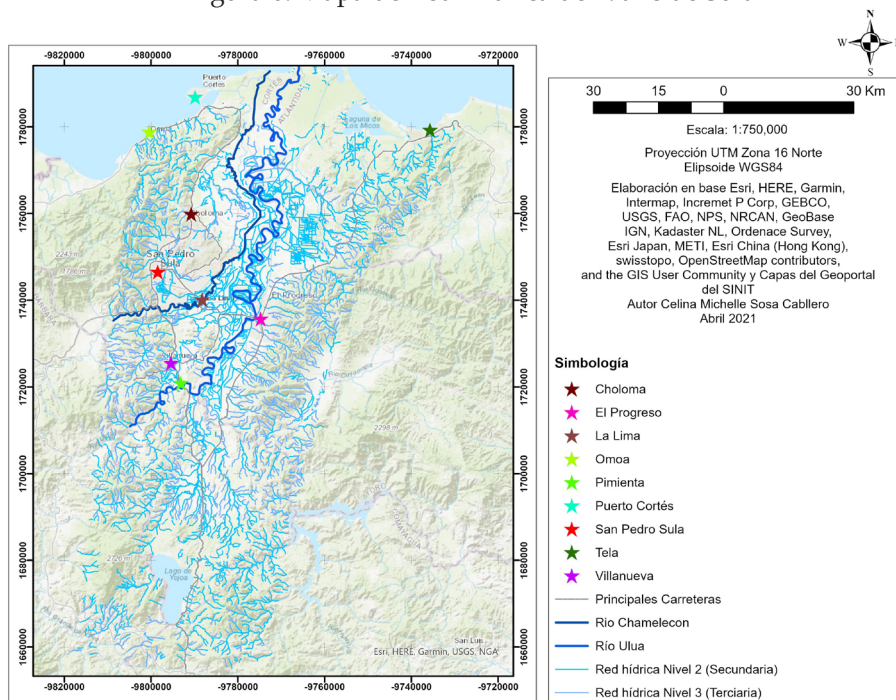
Fuente: elaboración Propia.

Forma del Valle de Sula

Según la investigación realizada y la definición conceptual, el Valle de Sula tiene forma de U porque el río Ulúa ha seguido la ruta de la Depresión Transversal. Este resultado se respalda por el estudio Geomorfología Fluvial de la Universidad del Cauca que define a un valle fluvial con forma de U a partir de ruta de una fractura o detenimiento sobre un sustrato de roca dura que reduce la tasa de erosión vertical.

Según Pineda Portillo (1997:44-58), la Depresión Transversal corresponde a una estructura tectónica de tipo graben que cruza el territorio hondureño en sentido norte-sur, desde el litoral de Puerto Cortés hasta el Golfo de Fonseca. Su origen está vinculado a un proceso tectónico común que dio lugar simultáneamente a las cuencas de los ríos Ulúa, Humuya y Goascorán, así como la depresión asociada al río Choluteca, la Meseta de Tegucigalpa y otros sistemas de graben ubicados en el occidente del país. Esta depresión presenta un trazo continuo a lo largo de su recorrido con una única interrupción topográfica significativa en las elevaciones de Rancho Chiquito donde se define la divisoria hidrográfica entre los ríos Humuya y Goascorán.

Figura 6. Mapa de Red Hídrica del Valle de Sula



Fuente: elaboración Propia.

La configuración geomorfológica del Valle de Sula responde a un origen tectónico asociado a la Depresión Transversal, entendida como una estructura tipo graben que atraviesa el territorio en sentido norte-sur (Pineda Portillo, 1997). Según planteamientos de la Universidad del Cauca (s.f.), esta condición estructural ha determinado el desarrollo de un valle con perfil transversal en “U”, ya que la red fluvial se ha ajustado a una zona de debilidad tectónica preexistente, favoreciendo procesos de ensanchamiento lateral del relieve por encima de la incisión vertical.

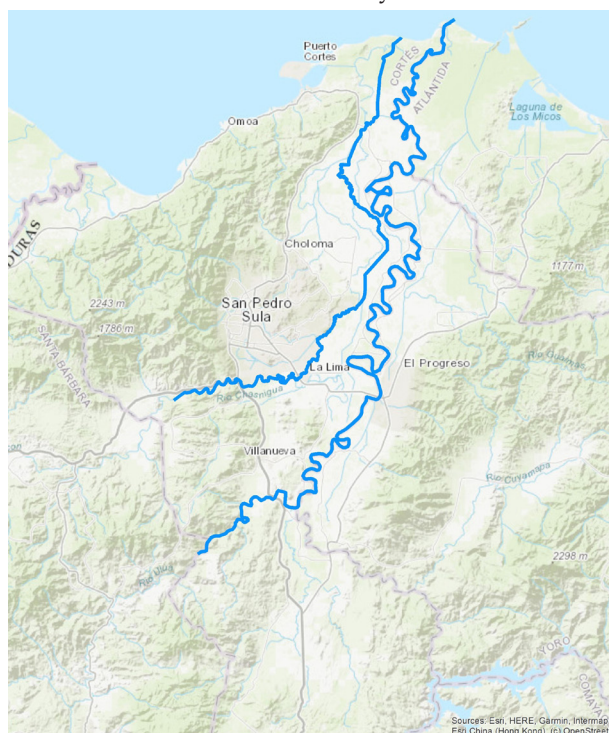
Desde el punto de vista morfodinámico, la evolución del valle se desarrolla a lo largo del tiempo como resultado de la interacción entre la actividad tectónica y los agentes exógenos (Fernández-Lozano, y otros, 2024). En este contexto, los ríos Ulúa y Chameleón desempeñan un papel fundamental en el modelado del relieve, al movilizar y depositar sedimentos en la llanura aluvial mediante procesos continuos de erosión, incisión y ampliación lateral del cauce (Universidad del Cauca, s.f.). De manera complementaria, la influencia de la gravedad y la capacidad de deformación de las rocas condicionan la rapidez con que retroceden los flancos del valle, dando lugar a un paisaje en

permanente transformación y adaptación a las fuerzas que lo afectan (Marre-ro, 1987).

Un elemento clave para interpretar esta unidad geomorfológica es la ele-vación conocida como Rancho Chiquito, el cual representa la única discon-tinuidad topográfica relevante dentro del trazado continuo de la Depresión Transversal (Pineda Portillo, 1997). Su importancia radica principalmente en su función hidrológica ya que actúa como punto de separación en las cuen-cas; estableciendo la divisoria de drenaje entre los ríos Humuya y Goascorán y ejerciendo control estructural determinante sobre la dinámica del escurri-miento en el valle (Pineda Portillo, 1997, págs. 44 y 58).

Otro factor es el estar rodeado de la Sierra de Omoa, Sierra Nombre de Dios, Sierra Atima, Sierra de Montecillos y Sierra de Mico Quemado (Figura 7).

Figura 7. Vista Panorámica del Valle de Sula, Resaltando del paso de los Ríos Chamelecón y Ulúa



Elaborado en base Esri, HERE, Garmin, Intermap, Increment P Corp, GEBCO, USGS, AO, NPS, NRCAN, GeoBase IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri.

Conclusiones

1. La investigación confirma y valida la clasificación del Valle de Sula como una unidad territorial con un perfil transversal en forma de U. Se concluye que esta morfología no es producto de una simple erosión fluvial, sino que está definida por una combinación de factores estructurales y deposicionales:
 - a. Origen tectónico: El valle constituye un graben o fosa tectónica ubicada dentro de la Depresión Transversal de Honduras, estructura que define la red hídrica desde el litoral atlántico hasta el pacífico.
 - b. Control estructural: La configuración en U responde al ajuste de los ríos principales en zonas de debilidad tectónica preexistentes, lo que ha favorecido históricamente el ensanchamiento lateral del relieve por encima de la incisión vertical.
 - c. Validación métrica: El análisis de los perfiles topográficos ratifica esta morfología al mostrar un fondo plano y paredes divergentes con una amplitud va de los 50,000 m en el sector norte hasta los 35,000 m en el sur, evidenciando el encajonamiento estructural del graben.
 - d. Modelado por sedimentación: La forma de U se ha consolidado mediante el relleno progresivo de sedimentos aluviales transportados por los ríos Ulúa y Chamelecón, agentes que han nivelado la base del valle a lo largo del tiempo geológico.
2. La investigación permite concluir que la configuración en forma de U del Valle de Sula no es un rasgo aislado, sino el resultado directo de la contención física ejercida por el sistema montañoso perimetral. Las cinco sierras identificadas —Omoa, Nombre de Dios, Atima, Montecillos y Mico Quemado— funcionan como paredes estructurales. Al actuar como barreras de roca dura, estas formaciones han limitado la capacidad de los ríos Ulúa y Chamelecón para erosionar verticalmente, obligándolos a seguir la ruta de la Depresión Transversal y favoreciendo, en su lugar, un proceso de ensanchamiento lateral y relleno aluvial masivo.
3. Se concluye que ignorar la forma de U invalida cualquier esfuerzo de planificación sectorial o municipal. Por tanto, el diseño de infraestructuras y la zonificación de asentamientos deben alinearse obligatoriamente con la dinámica natural de los ríos Ulúa y Chamelecón. Solo

mediante la integración de estos hallazgos geomorfológicos en las políticas públicas podrían reducir de manera sostenible la vulnerabilidad de la población, transformando el conocimiento técnico de formas del relieve en una herramienta de supervivencia y desarrollo regional.

Bibliografía

- Delgado Elvir, R. A. (2011). La Industria Maquiladora de Exportación y el Territorio en Honduras (El Caso De Choloma y Villanueva). *Población y Desarrollo - Argonautas y Caminantes*, 40–47. Doi:<https://doi.org/10.5377/Pdac.V3i0.486>
- Aned Consultores. (S.F.). *Estudios y Diagnosticos Especificos sobre la Situación De Seguridad Alimentaria y Nutricional, República De Honduras, Región 01 Valle De Sula. Tegucigalpa, Honduras.*
- Baró Suárez, J. E., y Monroy Gaytán, F. (2018). *Enfrentando los riesgos socionaturales*. Ciudad de México, México.
- Estrela, M. J., Fumanal, P., Y Garay, P. (1993). Evolución geomorfológicas de los valles prebeticos nororientales. *Cuaternario y geomorfología*, 157-170.
- Fernández-Lozano, J., Carrasco, R. M., De Pedraza, J., Sanz-Ablanedo, E., y Rodríguez-Pérez, J. R. (2024). Evulcared: estudio de vulnerabilidad y riesgos geológicos aplicado a la red hidráulica de las médulas (León, España). *Geo-temas*, 20, 439. https://www.researchgate.net/publication/383228332_Evulcared_Estudio_De_Vulnerabilidad_Y_Riesgos_Geologicos_Aplicado_A_La_Red_Hidraulica_De_Las_Medulas_Leon_Espana
- Fernández-Lozano, J., De Pablo-Hernández, M. Á., Carrasco, R. M., Turu, V., Soteres, R. L., Karampaglidis, T., . . . De Pedraza, J. (2024). Monitorización Morfoestructural y térmica del hidrolacólito de las calderuelas (parque nacional de guadarrama, sistema central). *Geo - temas*, 20, 1142. https://www.researchgate.net/publication/383228191_Monitorizacion_Morfoestructural_Y_Termica_Del_Hidrolacolit_Del_Las_Calderuelas_Parque_Nacional_De_Guadarrama_Sistema_Central
- Floréz Santasusana, M. (2012). Análisis arqueomorfológico y dinámica territorial. *Archivo español de arqueología*, 167-192.
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I., Y Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río sauce grande, Buenos Aires, Argentina. *Augmdomus*, 143-158.
- Huízar Álvarez, R., Y Oropea Orozco, O. (1989). *Geomorfología Kárstica de la región de Galeana, Estado de Nuevo León*. Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Instituto de Geología, 71-83.
- Jiménez Sánchez, M. (1999). Geomorfología fluvial en la cabecera del río nalón (Cordillera Cantábrica, Noroeste de España). *Revista de la Universidad de Oviedo*. Versión electrónica, 189-200.

- Marrero, L. (1987). *La Tierra y sus Recursos*. Madrid, España: Edime.
- Pgrd - Copeco. (2017). *Plan municipal de gestión de riesgo y propuesta de zonificación territorial*. Puerto Cortes, Honduras.
- Pineda Portillo, N. (1997). *Geografía de Honduras*. Tegucigalpa: Guaymuras.
- Rodriguez Espinosa, C. (2004). *Morfología Urbana Histórica: Metodología de Análisis de Ciudades hacia la Sostenibilidad*. Querétaro, México.
- Rosgen, D. L. (1994). A Classification of Natural Rivers. *Catena*, 22(3), 169-199. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9).
- Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa (2014). *Plan de desarrollo regional con enfoque de ordenamiento territorial Region 01 Valle de Sula*. Tegucigalpa, Honduras.
- Tarbut, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra una introducción a la geología física*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Universidad Del Cauca. (S.F.). *Geomorfología fluvial*. <http://Artemisa.Unicauca.Edu.Co/>: http://Artemisa.Unicauca.Edu.Co/~Hdulica/T_Geomorfologia.Pdf
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Criterios del Itc de Holanda para levantamientos geomorfológicos*.
- World Bank. (2018). *Bases for the incorporation of Drm in the planning of the Puerto Cortés Municipality* (Document In Spanish). World Bank.

Capítulo 4. Las neogeotecnologías en la formación del geógrafo: Transformación del aprendizaje en el Perú

LUZ ALEXANDRA JAVIER SILVA ¹

KAROL WENDY MEDINA LUQUE ²

MIGUEL HUMBERTO NÚÑEZ SAIRE ³

Introducción

La integración de las neogeotecnologías —herramientas digitales y metodologías innovadoras para gestionar datos espaciales— ha redefinido el rol del geógrafo y su formación a nivel global (Liu T. *et al.*, 2022). Tecnologías como los sistemas de información geográfica (SIG), la teledetección, la fotogrametría digital y la programación aplicada permiten capturar, analizar y visualizar datos territoriales con una precisión y velocidad sin precedentes. Esto facilita decisiones clave en planificación urbana, gestión ambiental y desarrollo sostenible (Thakur *et al.* 2024). Sin embargo, su incorporación en la educación superior presenta retos importantes: brechas de acceso a tecnología, falta de capacitación docente y currículos que no se actualizan al ritmo de la innovación (Santoso *et al.*, 2021); afectando la preparación de los egresados frente a un mercado laboral cada vez más digital (Longley *et al.*, 2021; Muñoz y Fernández-Arroyo, 2024).

En Perú, esta problemática se agrava por limitaciones estructurales como la escasa infraestructura tecnológica y el acceso desigual a recursos especializados (Freddo, 2023). Aunque universidades como la UNMSM y la PUCP han avanzado con cursos y laboratorios de geotecnologías, aún así existen barre-

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

3 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

ras para lograr una formación integral que responda a las demandas actuales. Esto provoca un bajo uso de herramientas avanzadas y poca innovación profesional, lo que dificulta consolidar una comunidad geográfica alineada con estándares internacionales (Longley *et al.*, 2021). De ahí la necesidad de analizar cómo estas tecnologías están transformando la formación de los geógrafos en Perú, identificando avances, obstáculos y estrategias para fortalecer su preparación.

La gestión de información geográfica digital es clave para enfrentar desafíos territoriales y económicos que permitan analizar dinámicas espaciales en distintas escalas y democratizar el acceso a datos mediante plataformas Web GIS (Sharma, 2025). También mejora la planificación al integrar datos físicos y socioculturales, lo que apoya la toma de decisiones en sectores públicos y privados (Alciaturi *et al.*, 2024). Por ello, estas tecnologías son esenciales en áreas como catastros, geomarketing y conservación ambiental ya que promueven el uso más eficiente de los recursos, fomentando una participación inclusiva en el ordenamiento territorial (Albornoz, 2002). No obstante, su rápido avance —impulsado por satélites, drones y dispositivos inteligentes— genera nuevos retos, especialmente en el procesamiento de datos, que exigen soluciones como la inteligencia geoespacial y la visualización avanzada (Nosolosig, 2022).

El desarrollo de software libre y aplicaciones SIG ha hecho estas tecnologías más accesibles y adaptables, fortaleciendo su impacto en la gestión de datos y en ciudades inteligentes. Así, se posicionan como herramientas clave en la enseñanza geográfica, al facilitar el análisis territorial con beneficios sociales, económicos y prácticos (Bondarenko, 2025). Una implementación eficiente no solo impulsa el desarrollo sostenible, sino que también reduce costos de planificación y mejora la competitividad en sectores productivos (Sharma, 2025).

En este contexto, la presente investigación analiza el impacto de las neogeotecnologías en la formación académica de los geógrafos peruanos, evaluando cómo mejorar sus competencias técnicas, las barreras que enfrentan las universidades y su efecto en las oportunidades laborales, con el fin de proponer estrategias para una preparación más sólida ante las demandas del territorio.

Antecedentes

La enseñanza de la Geografía en el Perú ha avanzado en la incorporación de geotecnologías, fortaleciendo competencias técnicas. Sin embargo, persisten limitaciones estructurales como el acceso desigual a la tecnología y la escasa formación continua para docentes. Estos problemas reflejan tendencias globales, donde herramientas como los SIG, sensores remotos, GPS, drones y software libre han redefinido la formación geográfica.

A nivel global las herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, la teledetección, el GPS, los drones y el software libre han redefinido los perfiles formativos. De esta manera, Verma y Kotwal (2025) sostienen que los Sistemas de Información Geográfica ha dejado de ser instrumento altamente especializado para convertirse en plataformas ubicuas de análisis espacial y apoyo a la toma de decisiones; lo que incrementa la demanda de profesionales con formación avanzada en geotecnologías, capaces de responder a los desafíos de un mundo interconectado y saturado de datos geoespaciales. Mientras tanto, Bondarenko (2025), a partir de una revisión sistemática de estudios sobre la enseñanza de la geografía con Sistemas de Información Geográfica entre 2010 y 2024, muestra que los programas formativos centrados en geotecnologías potencian de manera significativa las competencias técnicas y profesionales del geógrafo, constituyéndose con referencia al diseño de posgrados orientados a la inserción laboral en un mercado crecientemente digitalizado. Por su parte, Alciaturi *et al.* (2024) subrayan que las geotecnologías y el Geo Big Data posibilitan la integración de dimensiones biofísicas y humanas de los fenómenos espaciales, generando conocimiento aplicable a la gestión de riesgos, agricultura, ambiente y gobierno (abierto), reforzando la necesidad de perfiles especializados capaces de gestionar estas herramientas avanzadas.

En el ámbito latinoamericano, algunas experiencias ofrecen marcos comparativos pertinentes para el caso peruano. En Costa Rica, Quirós *et al.* (2024) evidencian, a partir del análisis de la producción científica en geografía, un crecimiento explosivo de las tecnologías vinculadas al manejo de la información geográfica, acompañado de un mercado de trabajo en expansión para los geógrafos, lo que legitima la creación de programas de posgrado especializados en geotecnologías. Por su parte, en la República Dominicana, Sosa *et al.* (2026) destaca la fotogrametría digital apoyada por drones e integrada con Sistemas de Información Geográfica, ha transformado la producción cartográfica de alta precisión para la planificación urbana y gestión territorial; requiriendo profesionales con sólida formación geotecnológica capaces de diseñar, actualizar y analizar bases cartográficas detalladas.

En contraste con estas tendencias, en el Perú, el uso de geotecnologías en la formación geográfica sigue constituyendo un desafío que las universidades deben asumir de manera más decidida. Si bien el estudiante alcanza un dominio medio de estas herramientas en el contexto universitario, su aplicación fuera del campus se ve restringida por limitaciones de acceso, infraestructura y conectividad a pesar de promover modelos de autoformación. En consecuencia, se vuelve imprescindible reconfigurar la enseñanza de la Geografía hacia entornos digitales y multidisciplinarios, incorporando tempranamente las geotecnologías en el currículo y articulándolas con el desarrollo del pensamiento crítico y un enfoque analítico. Las experiencias internacionales revisadas convergen en la importancia de institucionalizar la capacitación docente,

garantizar condiciones de acceso a la tecnología y combinar habilidades técnicas con capacidades interpretativas a fin de impulsar una transformación profunda de la educación geográfica en el país.

Consideraciones teóricas

La geografía, como disciplina que examina las interacciones entre sociedad y territorio, proporciona un marco esencial para identificar y analizar lugares como el estudio de dinámicas de barrios, comunidades y municipios; apoyando la gestión de recursos, la planificación urbana y detección de vulnerabilidades ambientales y sociales. El trabajo de campo y la observación directa conectan a los estudiantes con su entorno, promoviendo un aprendizaje vivencial que refuerza su identidad territorial y sentido de pertenencia. A escalas regional y global, la geografía aborda fenómenos como cuencas hidrográficas, corredores ecológicos y dinámicas socioeconómicas; facilitando la coordinación entre jurisdicciones, contribuyendo en políticas públicas orientadas al desarrollo sostenible como al seguimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) mediante comparaciones internacionales (García, 2023).

Desde una perspectiva epistemológica, la geografía integra paradigmas como el determinismo, posibilismo, regionalismo, cuantitativismo y geografía crítica, ofreciendo un enfoque interdisciplinario para enfrentar desafíos como el cambio climático, la desigualdad social y la conservación del patrimonio. Este marco teórico fomenta un pensamiento crítico y sistémico, permitiendo a los geógrafos interpretar fenómenos desde perspectivas espaciales, temporales y relacionales; articulando conocimientos de ciencias naturales y sociales (Carreto, 2023).

Mientras que la conceptualización de las geotecnologías, según Ingle *et al.* (2025), revolucionan la investigación geográfica al incorporar herramientas como los SIG, la teledetección y cartografía digital, ofrecen soluciones precisas, escalables y rentables. Estas tecnologías procesan y visualizan datos geoespaciales, facilitando la comprensión de procesos territoriales complejos así como la toma de decisiones basadas en evidencia. Este avance ha dado lugar a así como la “praxis geotecnológica”, un paradigma que utiliza laboratorios geodigitales y técnicas computacionales para modelar escenarios y proponer soluciones innovadoras a problemas territoriales.

La integración de neogeotecnologías como la cartografía participativa y los datos abiertos en la enseñanza universitaria de la geografía, transforma la formación del geógrafo. Estas herramientas promueven un aprendizaje activo mediante el análisis multiescalar y la incorporación de diversas fuentes de datos; desarrollando competencias técnicas en software especializado y habilidades analíticas para resolver problemas territoriales. Además, enriquecen la didáctica geográfica, fomentando una ciudadanía territorial que posiciona a los estudiantes como agentes comprometidos con la sostenibilidad y equidad.

Este enfoque asegura que la educación geográfica en el Perú es pertinente frente a los retos tecnológicos en un contexto digital e interdisciplinario (Di Leo y Rosalen, 2023).

Metodología

La investigación adoptó un enfoque metodológico descriptivo, sustentado en el análisis documental, la evaluación curricular y entrevistas semiestructuradas a actores clave del ámbito académico y profesional; desarrollado en cuatro etapas secuenciales para evaluar la integración de tecnologías emergentes en la formación de geógrafos y fortalecer su preparación para el mercado laboral.

Por su parte, el análisis documental se desarrolló bajo una revisión sistemática de fuentes especializadas sobre geotecnologías y formación geográfica que incluyó artículos científicos de los últimos cinco años; libros, informes del Colegio de Geógrafos del Perú y documentos históricos sobre la evolución tecnológica en el país.

Esta revisión abarcó también planes de estudio vigentes de las carreras de Geografía de la UNMSM (2009 - 2023) y la PUCP (2018 - 2023), universidades que forman geógrafos en el país con el objetivo de identificar la presencia, secuencia y profundidad de los cursos vinculados a SIG, teledetección, fotogrametría digital, programación aplicada y geomática. Los documentos fueron seleccionados mediante criterios de pertinencia temática (relación directa con geotecnologías y educación geográfica), actualidad y relevancia institucional, se organizaron en matrices de análisis que sintetizaron tendencias, vacíos y niveles de integración en las neogeotecnologías de la formación del geógrafo. Los resultados del análisis documental sirvieron como base para diseñar el protocolo de entrevistas semiestructuradas y contextualizar los hallazgos empíricos sobre modernización curricular de competencias profesionales.

Para la recolección de información cualitativa se aplicaron entrevistas semiestructuradas a docentes de la UNMSM (2) y la PUCP (1), organizadas en cinco dimensiones analíticas: competencias técnicas, acceso a recursos tecnológicos, formación docente, impacto en la empleabilidad e innovación en la enseñanza. La Cuadro 1 presenta la estructura de la guía de entrevista utilizada, con los aspectos evaluados en cada dimensión.

Adicionalmente, se aplicó la entrevista semiestructurada al decano del Colegio de Geógrafos del Perú (período 2025), la misma que se organizó en cuatro dimensiones: competencias técnicas, acceso y disponibilidad de recursos tecnológicos, impacto en la empleabilidad e innovación en el ejercicio profesional. A continuación, se presenta la Cuadro 2 donde se muestran las dimensiones y aspectos evaluados que sintetiza los contenidos abordados en la entrevista.

Cuadro 1. Estructura de la guía de entrevista semiestructurada aplicada a docentes de geografía

Dimensión	Aspectos evaluados
1. Competencias técnicas de los estudiantes	1.1 Domina competencias técnicas esenciales en geotecnologías. 1.2 Maneja con solvencia software de geotecnologías 1.3 Se mantiene actualizado en tecnologías y metodologías de geotecnologías.
2. Acceso y disponibilidad de recursos tecnológicos	2.1 Cuenta con recursos tecnológicos institucionales suficientes para enseñar geotecnologías. 2.2 Afronta y gestiona limitaciones en el acceso a recursos tecnológicos. 2.3 Los estudiantes disponen de recursos tecnológicos adecuados, con mejoras identificadas.
3. Formación y capacitación docente	3.1 Ha recibido formación específica para impartir cursos de geotecnologías. 3.2 Dispone de oportunidades de capacitación continua en geotecnologías. 3.3 Identifica áreas prioritarias de formación para mejorar su docencia en geotecnologías. 3.4 Adapta sus métodos pedagógicos a los cambios introducidos por las geotecnologías. 3.5 Desarrolla y evalúa competencias específicas en estudiantes mediante geotecnologías.
4. Impacto en la empleabilidad	4.1 Reconoce que las geotecnologías mejoran la empleabilidad de los estudiantes. 4.2 Integra proyectos y ejemplos alineados con demandas del mercado laboral. 4.3 Percibe alta demanda laboral de geógrafos con habilidades en geotecnologías.
5. Innovación en la enseñanza	5.1 Implementa métodos y enfoques innovadores en la enseñanza de geotecnologías. 5.2 Utiliza tecnologías emergentes en clase y observa impacto positivo en el aprendizaje. 5.3 Enfrenta y supera barreras para introducir innovaciones en su enseñanza.

Fuente: elaboración propia.

*CAPÍTULO 4. LAS NEOGEOTECNOLOGÍAS EN LA FORMACIÓN DEL GEÓGRAFO:
TRANSFORMACIÓN DEL APRENDIZAJE EN EL PERÚ*

Cuadro 2. Estructura de la guía de entrevista semiestructurada aplicada al Colegio de Geógrafos del Perú

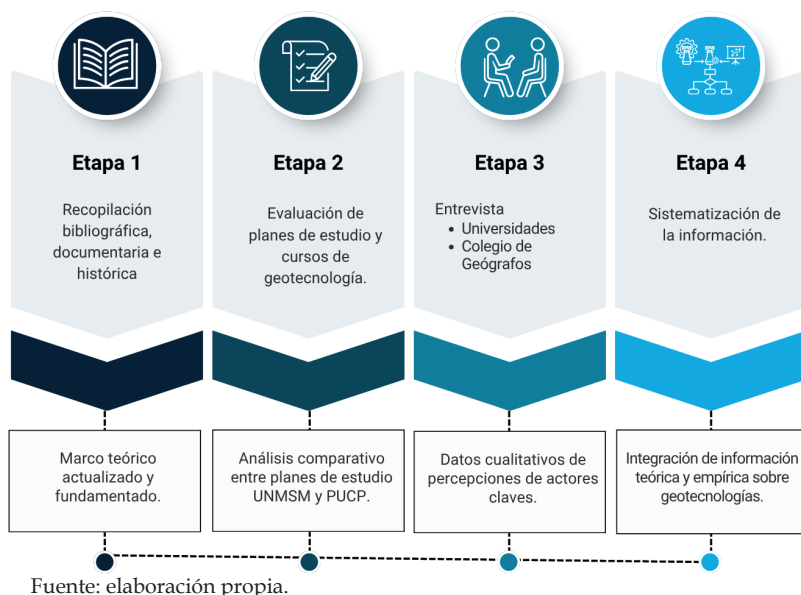
Dimensión	Aspectos evaluados
1. Competencias técnicas	1.1 Identifica competencias geotecnológicas alineadas con las demandas del desarrollo nacional. 1.2 Reconoce la alta demanda y uso de plataformas SIG entre los geógrafos colegiados. 1.3 Promueve la actualización continua mediante cursos especializados, programas de capacitación y actividades formativas en geotecnologías.
2. Acceso y disponibilidad de recursos tecnológicos	2.1 Sistematiza información sobre recursos tecnológicos disponibles para la formación y el ejercicio profesional de los geógrafos colegiados. 2.2 Identifica brechas en el acceso a tecnologías que limitan el desempeño profesional y plantea acciones para su reducción. 2.3 Impulsa el acceso equitativo a recursos tecnológicos tanto en la formación inicial como en la práctica profesional de los geógrafos.
3. Impacto en la empleabilidad	3.1 Reconoce que las competencias en geotecnologías generan mayores oportunidades laborales en gestión de riesgos, planificación urbana y monitoreo ambiental. 3.2 Destaca proyectos geotecnológicos en análisis territorial, monitoreo ambiental y gestión de riesgos que contribuyen al desarrollo nacional. 3.3 Señala la necesidad de desarrollar habilidades complementarias en liderazgo, ética profesional y trabajo interdisciplinario para responder a las demandas del mercado.
4. Innovación en el ejercicio profesional	4.1 Identifica prácticas innovadoras en el uso de datos abiertos, inteligencia artificial y software libre entre los geógrafos colegiados, con potencial de ser fortalecidas mediante difusión y apoyo institucional. 4.2 Reconoce la adopción de tecnologías emergentes como análisis predictivo, visualización 3D y plataformas colaborativas, que añaden valor y mejoran la calidad del trabajo geográfico. 4.3 Reconoce que los geógrafos enfrentan brechas tecnológicas, limitaciones de recursos y necesidades de capacitación, y que el CGP puede apoyarlos mediante programas formativos, articulación institucional y acceso a herramientas innovadoras.

Fuente: elaboración propia.

En la tercera etapa, se realizaron las entrevistas semiestructuradas, la revisión bibliográfica y curricular, se creó un corpus cualitativo que reveló tendencias y desafíos en la formación profesional.

Por último, se aplicó un análisis temático por triangulación de los hallazgos de todas las etapas para clasificar fortalezas, limitaciones y oportunidades según los ejes de estudio. Con ello, se elaboró un informe final de conclusiones precisas y recomendaciones para las universidades (Figura 1).

Figura 1. Etapas del proceso metodológico para el desarrollo de la investigación



Resultados

Evolución histórica y convergencia tecnológica de las neogeotecnologías

La evolución de las geotecnologías en el Perú refleja una transformación continua del conocimiento territorial, impulsada por avances científicos que han reformulado los contenidos curriculares y competencias profesionales. Esta evolución muestra cómo la incorporación de nuevas herramientas ha enriquecido la formación en disciplinas relacionadas con el espacio.

La geodesia inicia este desarrollo. En el 240 a. C. Eratóstenes calculó la circunferencia de la Tierra con observaciones astronómicas (Matthew, 2023). Newton aportó un marco teórico con su Ley de Gravitación Universal (1687),

fundamental para modelar el geoide (Ohnesorge, 2022). Francia estandarizó las mediciones en 1791 con el sistema métrico decimal (Simoson, 2012). En el Perú, la expedición hispanofrancesa (1735–1744) confirmó el modelo newtoniano, base de la cartografía virreinal (Gonzales de Posada, 2005). Hoy, la geodesia satelital y el GPS alcanzan precisiones milimétricas con aplicaciones interdisciplinarias (Tavares *et al.*, 2025).

La topografía se remonta al Antiguo Egipto (3000 a. C.), donde se usaba el “codo real” para medir tierras (Awad, 2002). Heródoto y Eratóstenes reforzaron su función descriptiva (Isaac, 2023). La brújula china (ca. 1100 d. C.) y el teodolito de Sisson (1729) marcaron avances técnicos (Bréard, 2022). En Perú, se institucionalizó en 1799 y se consolidó con la Escuela Militar de Chorrillos en 1904 (Tauro del Pino, 2001). En el siglo XX, se amplió con fotografía aérea, radar y GPS (Leoni, 2022).

La cartografía nació en Grecia con Anaximandro (600 a. C.) y se perfeccionó con Ptolomeo (150 d. C.) (Harley y Woodward, 1987; Thrower, 2008). La proyección de Mercator (1569) revolucionó la navegación (Rodríguez, 2024). En el siglo XIX, se consolidan los símbolos normalizados y respaldo institucional (Prestby, 2025). En Perú, el Mapa General de Paz Soldán (1859) fue clave para la gestión estatal (Paz Soldán, 1865; Chaumeil, 2011). En el siglo XXI, la cartografía digital y los SIG mejoraron precisión y acceso (Kraak y Ormeling, 2020).

La fotogrametría surgió en 1851 con Aimé Laussedat, al extraer datos de imágenes (Pérez, 2022). Nadar tomó las primeras fotos aéreas en 1858 (Linder, 2016) y en 1903 empezó su uso cartográfico sistemático (Reinhard y Zaia, 2023). En el siglo XX, la precisión creció con cámaras métricas. Hoy, drones y LIDAR optimizan su uso en arqueología y urbanismo (Gutiérrez, 2025). En Perú, inició en 1957 con el Instituto Geográfico Militar y la Carta Nacional (Instituto Geográfico Nacional, 2015).

La teledetección comenzó con Nadar en 1858, pero se consolidó en el siglo XX con sensores espaciales (Lillesand *et al.*, 2015). En Perú, se aplicó desde 1960 en estudios arqueológicos (Moseley, 2001). El lanzamiento del Landsat 1 (1972) marcó un hito mundial (NASA, s. f.). Desde 2000, sensores como MODIS y Sentinel han mejorado el análisis climático y de sus recursos (ESA, s. f.).

El procesamiento digital de imágenes (PDI) nació en los años 60 con la NASA (Suárez, 2022). En 1980, la clasificación supervisada mejoró el análisis del uso de suelo (Mehmood *et al.*, 2022). Desde 2000, los algoritmos de aprendizaje automático aumentaron su precisión y eficiencia (Hosseiny *et al.*, 2024). En Perú, se emplea desde los 80 en planificación y estudios ambientales (Cuadra, 2020).

El GPS, desarrollado desde 1973 por el Departamento de Defensa de EE. UU., logró una cobertura global para 1995 y se extendió al uso civil (Alonso, 2023). En Perú, se aplicó hacia 1970 durante el gobierno de Velasco (Cuadra,

2020). Su integración con SIG y sensores remotos optimizó la logística territorial (Fulzele y Athawale, 2024). El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) con sistemas como GLONASS, Galileo y BeiDou que mejoraron la cobertura. En Perú, se probó en Cuzco desde 2008 (Cuadra, 2020).

Los sistemas de información geográfica (SIG) surgieron en 1963 con Roger Tomlinson (Tomlinson, 2007). Esri nació en 1969 y Landsat (1972) impulsó su integración con la teledetección. En 1982, ARC/INFO mejoró el análisis espacial, seguido en los 90 con herramientas abiertas como QGIS (Steiniger y Hunter, 2013). En Perú, se introdujeron en los 80, modernizando la gestión territorial (Cuadra, 2020).

Python, creado en 1991, se consolidó en ciencia de datos con su versión 3.0 en 2008 (Morochó, 2024). Bibliotecas como NumPy, Pandas, GeoPandas y ArcPy facilitaron el análisis geoespacial (Vaz, 2024). En Perú, comenzó a usarse en los 2000 como parte de la renovación académica (Cuadra, 2020).

La geoinformática emergió en los 90, integrando informática y datos espaciales (Bartelme N., 2005). En los 2000, las aplicaciones web facilitaron su uso y en 2010 el Big Data geoespacial permitió el monitoreo en tiempo real (Li *et al.*, 2016). En Perú, se aplicó desde 2000 en universidades y entidades públicas (Cuadra, 2020).

Los drones surgieron en 1917 con fines militares (Chen *et al.*, 2025). Abraham Karem impulsó su desarrollo moderno en 1970. Desde 2000, se aplican en agricultura, vigilancia y cartografía (Toscano, 2012). En Perú, debutaron en 2008 con el UAV FAP para monitoreo agrícola (Cuadra, 2020). Desde 2010, destacan en fotogrametría y desde 2020 para gestión de desastres (Ancasi, 2025).

La inteligencia artificial geoespacial (GeoAI) nació en 2010 en Wisconsin, con técnicas de deep learning aplicadas a imágenes satelitales. En 2023, estudios cartográficos demostraron su impacto con precisión y automatización (Kang *et al.*, 2023). En Perú, se introdujo en 2021, durante el gobierno de Vizcarra para mejorar el cartografiado geológico y la gestión de recursos (Cuadra, 2020).

Evolución curricular y consolidación de las geotecnologías en la formación del geógrafo

La enseñanza de la geografía en el Perú comenzó a fines del siglo XVIII, promovida por Unanue como herramienta clave para conocer el territorio (Ccente y La Torre, 2003). En el siglo XIX se integró en colegios como San Carlos y Guadalupe, luego en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) que lideraron su formación universitaria.

En la UNMSM, la reforma de 1876 incorporó geodesia y topografía en la Facultad de Ciencias; mientras que las Ciencias Naturales se desarrollaban

en líneas como la fitogeografía. En 1931, se creó el Instituto de Geografía, sin embargo fue hasta 1949 que formó profesionales con apoyo del Servicio Geográfico del Ejército. La carrera de Geografía se formalizó en 1947, con énfasis en representación territorial. Sin embargo, la fundación de la Escuela se llevó a cabo en 1960, ampliando su autonomía curricular. El plan 2009 sumó teledetección, PDI y SIG. La reforma de 2018 integró cartografía automatizada y catastro bajo talleres de geomática. El plan 2023 mantiene este enfoque mixto entre fundamentos clásicos y tecnologías modernas (Facultad de Ciencias Sociales, UNMSM, s/f).

La PUCP creó en 1987 la carrera de Geografía y Medio Ambiente. Desde 2018 reforzó la formación en SIG, teledetección, análisis espacial y programación en Python y R, promoviendo un perfil técnico y analítico (Facultad de Letras y Ciencias Humanas, PUCP, s/f).

SENCICO, institución técnica fundada en 1976, lanzó en 2006 la carrera de Geomática con seis ciclos para responder a la demanda del sector construcción. Esta iniciativa amplió el acceso de las geotecnologías y fortaleció la formación técnica en gestión territorial (ANDINA, 2009).

El constante ajuste de planes en UNMSM y PUCP refleja un compromiso con una formación geográfica actualizada y pertinente. Esta evolución demuestra la articulación entre tradición académica e innovación, posicionando ambas universidades como referentes en el desarrollo de profesionales capaces de afrontar los retos del país y el mundo.

Diagnóstico integral de la formación en geotecnologías territoriales a partir de las entrevistas semiestructuradas

La formación en geotecnologías territoriales para estudiantes de geografía en la UNMSM y PUCP se configura como un campo dinámico, marcado por avances significativos y desafíos estructurales que exigen atención. Este análisis integra las perspectivas de docentes en ambas instituciones para evaluar cinco dimensiones clave: las competencias técnicas de los estudiantes, el acceso y la disponibilidad de recursos tecnológicos, la formación y capacitación docente, el impacto en la empleabilidad y la innovación en la enseñanza. Mediante una síntesis crítica, se identifican fortalezas, se delimitan limitaciones y se plantean líneas de acción para fortalecer la educación geográfica en el contexto universitario peruano, alineándose con las demandas actuales del ámbito profesional y territorial.

Las competencias técnicas de los estudiantes de geografía evidencian un dominio intermedio avanzado en herramientas geotecnológicas, destacando el uso de software como ArcGIS Pro, ENVI, SNAP y Agisoft Metashape. Los docentes subrayan la importancia de la autoformación y actualización constante para adaptarse a la rápida evolución tecnológica. Además, consideran esencial una base conceptual sólida en análisis espacial, complementada por

casos prácticos que vinculan teoría y práctica; lo que permite desarrollar criterios analíticos para interpretar datos y abordar problemáticas territoriales. En este sentido, priorizan la aplicación crítica de los SIG en áreas como la arqueología y el urbanismo, valorando la interpretación sobre la simple habilidad técnica en base a fundamentos teóricos y proactividad para responder a un campo en transformación.

El acceso y la disponibilidad de recursos tecnológicos presentan un escenario de contrastes. Por un lado, se reconoce la existencia de equipos funcionales pero obsoletos, como procesadores i7 de cuarta generación, cuya renovación se ve limitada por restricciones administrativas, afectando tareas de alto procesamiento. Por otro lado, se valora la disponibilidad de licencias actualizadas de software especializado, como ArcGIS Pro y ENVI junto con una infraestructura de red adecuada y computadoras individuales en los laboratorios, respaldadas por una conectividad suficiente. Sin embargo, persisten brechas en el acceso fuera del campus, lo que restringe la autonomía estudiantil y problemas de conectividad que dificultan el aprendizaje. Entonces, como alternativa, se destaca el uso de software libre ante la escasez de licencias comerciales. En consecuencia, los docentes proponen estrategias institucionales para promover la equidad, actualizar equipos, optimizar laboratorios y ampliar horarios o donaciones; asegurando un acceso justo y sostenible.

La formación, capacitación y enseñanza docente son fundamentales para la calidad de la educación en geotecnologías. Los docentes de la UNMSM y la PUCP cuentan con trayectorias sólidas, respaldadas por especializaciones en SIG y teledetección, maestrías en Tecnologías de Información Geográfica y la integración de herramientas como Google Earth Engine y Python para casos prácticos. Asimismo, valoran la investigación y experiencia en consultoría como vías de actualización, incorporando telemática, inteligencia artificial y drones para enriquecer la pedagogía, fomentando el aprendizaje experiencial mediante investigación aplicada para resolver problemáticas actuales como la gestión de riesgos (aunque advierten sobre la insuficiencia de capacitaciones institucionales). En este contexto, coinciden con la necesidad de actualización constante, prácticas contextualizadas y mayor apoyo institucional para alinear la enseñanza con los avances tecnológicos y las exigencias del campo.

El impacto de la empleabilidad posiciona a las geotecnologías como un factor clave para la inserción laboral de los egresados requiriendo la integración de destrezas técnicas, capacidad crítica y aplicaciones prácticas. Los estudios de caso como el análisis de incendios forestales o el retroceso de glaciares, fortalecen habilidades analíticas y criterio profesional; superando el dominio técnico. En el mercado peruano, se valora el procesamiento de imágenes y el análisis multicriterio, siempre respaldados por una base teórica sólida. De igual forma, la geomática se perfila como una puerta de entrada laboral, potenciada por casos prácticos que incrementan la competitividad en

áreas como la gestión ambiental. A su vez, el análisis espacial se considera la competencia central, impulsando proyectos de creciente demanda profesional versátil preparándolos para oportunidades como el teletrabajo.

La innovación en la enseñanza va más allá de las herramientas, demandando adaptaciones metodológicas, compromiso estudiantil y soluciones de barreras estructurales para transformar la formación geográfica donde se combina avances parciales y desafíos pendientes a partir de tecnologías como imágenes satelitales, ortofotos, Google Earth Engine y Python que observan resistencias estudiantiles como la necesidad de reforzar el inglés como habilidad transversal. Mediante casos prácticos y tecnologías emergentes, se busca contextualizar el aprendizaje, pero las dificultades en la adopción de procesos innovadores limitan su alcance. Para ello, se aboga por la capacitación específica que evalúe el impacto de estas innovaciones. Además, prácticas novedosas como la elaboración de posters de investigación que coexisten bajo el uso incipiente de la inteligencia artificial y obstáculos de conectividad; requiriendo una evaluación crítica de su utilidad.

Panorama y desafíos de la formación en el ejercicio profesional del geógrafo con geotecnologías territoriales

La formación y el ejercicio profesional en geotecnologías territoriales constituyen un campo dinámico para los geógrafos en el Perú, marcado por avances significativos y desafíos que requieren atención estratégica. Desde la perspectiva del Colegio de Geógrafos del Perú, este análisis aborda cinco dimensiones clave: competencias técnicas, acceso a recursos tecnológicos, capacitación profesional, empleabilidad e innovación en la práctica. A partir de una síntesis crítica, se identifican fortalezas, se precisan limitaciones y proponen líneas de acción para fortalecer el rol del geógrafo en consonancia con las exigencias del contexto profesional y territorial actual, en favor del desarrollo sostenible.

En primer lugar, las competencias técnicas de los geógrafos muestran un dominio desigual de las herramientas geoespaciales. ArcGIS predomina por su accesibilidad y uso institucional, mientras que QGIS, pese a ser una alternativa de código abierto registra una adopción limitada. Google Earth es valorado por su facilidad de uso, aunque persiste una brecha en el manejo avanzado, sobre todo el análisis de imágenes satelitales y disposición para la especialización. Esta situación evidencia la urgencia de diversificar y profundizar las competencias, impulsando una actualización constante como la formación especializada en herramientas emergentes.

Respecto al acceso a recursos tecnológicos, el panorama aún está en desarrollo. Ante esta realidad, el Colegio ha creado un Consejo Consultivo de Geotecnologías para enfrentar estos retos. Si bien las acciones aún son incipientes, se reconoce la necesidad de orientar a los profesionales mediante capacitaciones y guías sobre tecnologías emergentes. Frente a las restricciones

económicas y ritmo acelerado de la innovación, se vuelve clave diseñar estrategias que promuevan un acceso equitativo y sostenible, adaptadas a las condiciones reales del gremio para asegurar su disponibilidad efectiva de recursos.

En el ámbito de la capacitación profesional, se percibe una combinación de avances y debilidades. El dominio básico e intermedio de ArcGIS representa un punto fuerte; sin embargo, la falta de conocimientos avanzados y el uso limitado de QGIS o software para análisis satelital revelan carencias. Los cursos internacionales promovidos por el Colegio, enfocados en estudios físicos, riesgos de desastres y ordenamiento territorial, buscan cubrir estas brechas. No obstante, la baja participación de geógrafos colegiados y el mayor interés de profesionales de otras disciplinas reflejan una escasa motivación interna hacia la actualización profesional.

En cuanto a la empleabilidad, las geotecnologías han ampliado las oportunidades laborales para los geógrafos, en especial en campos como la gestión de riesgos, los estudios ambientales, el catastro y la planificación urbana. Su capacidad para aplicar instrumentos técnicos en proyectos territoriales es altamente valorada. Además, se destacan las habilidades blandas —empatía, cultura general y competencias gerenciales— como elementos diferenciadores que fortalecen la inserción laboral, subrayando la importancia de articular conocimientos técnicos con capacidades humanas.

Finalmente, la innovación en la práctica profesional se manifiesta en la incorporación de tecnologías como drones, aplicaciones móviles y plataformas avanzadas, entre ellas Google Earth Engine, Global Mapper y R. (entorno de programación) Aunque su masificación requiere evaluar su pertinencia frente al mercado, las limitaciones económicas del gremio obligan a priorizar herramientas alineadas con sus necesidades y capacidades reales, evitando soluciones inadecuadas o poco sostenibles. Entonces, el ejercicio profesional de los geógrafos en el Perú, según la visión del Colegio, reúne fortalezas el uso consolidado de ciertas herramientas con una creciente inserción laboral, junto a desafíos persistentes como las brechas técnicas, el acceso limitado y la escasa motivación para innovar. Este análisis recomienda diversificar competencias, asegurar un acceso equitativo, promover una capacitación integral y fomentar soluciones tecnológicas emergentes; consolidando así el aporte de los geógrafos al desarrollo sostenible del país.

Conclusiones

La integración de las neogeotecnologías en la formación académica de los geógrafos en el Perú ha transformado de manera significativa la enseñanza y el perfil profesional de estos especialistas. Este proceso cobra especial relevancia al considerar que la ciencia geográfica se imparte exclusivamente en dos escuelas en todo el país: la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

(UNMSM) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). En ambas instituciones, el acceso y uso de herramientas como los SIG, la teledetección, la fotogrametría digital y la programación aplicada han fortalecido las competencias técnicas de los estudiantes, permitiéndoles analizar y gestionar información territorial con mayor precisión, autonomía y adaptabilidad frente a los avances tecnológicos. Esta modernización curricular, impulsada principalmente por las universidades más representativas del país, ha facilitado el desarrollo de habilidades alineadas con estándares internacionales y con las exigencias del mercado laboral actual. No obstante, su implementación enfrenta barreras estructurales: insuficiencia de infraestructura tecnológica, acceso desigual a licencias de software y escasa capacitación docente, factores que limitan su aprovechamiento pleno y dificultan la innovación pedagógica, especialmente fuera de los centros urbanos. A pesar de estos desafíos, la formación en neogeotecnologías ha incrementado notablemente la empleabilidad de los egresados, quienes hoy cuentan con competencias altamente valoradas en sectores como la gestión ambiental, la planificación urbana y la consultoría territorial.

Recomendaciones

Por tanto, es necesario la actualización y fortalecimiento de los planes de estudio, integrando de manera progresiva las neogeotecnologías y articulándolas con problemas territoriales reales; priorizando la enseñanza de lenguajes de programación y análisis de datos a gran escala (Big Data). Asimismo, se recomienda optimizar la infraestructura y el acceso a recursos tecnológicos, promoviendo el uso estratégico de software libre y plataformas en la nube para brindar oportunidades de aprendizaje tanto dentro como fuera del campus.

En el ámbito docente, resulta prioritario institucionalizar programas de capacitación continua en SIG, teledetección, programación y tecnologías emergentes, vinculados a iniciativas de innovación pedagógica que garanticen una enseñanza actualizada que aborde la superación de barreras lingüísticas en el manejo de herramientas globales.

Finalmente, se propone fortalecer el trabajo conjunto entre las universidades, el Colegio de Geógrafos del Perú y las entidades públicas y privadas, con el propósito de impulsar nuevas investigaciones sobre el impacto de las neogeotecnologías en la formación y el ejercicio profesional del geógrafo; asegurando que la ciencia geográfica peruana mantenga su relevancia y competitividad internacional.

Bibliografía

Agencia Espacial Europea (ESA) *sobre las misiones Sentinel: Explora la documentación oficial y el impacto del programa Copérnico en el sitio web de Sentinel Online*

de la ESA.

ANDINA (2009). *Capacitación, formación técnica y fortalecimiento institucional para la gestión territorial en la región andina*. Secretaría General de la Comunidad Andina.

Albornoz, M. (2002). *Situación de la ciencia y la tecnología en las Américas*. Centro de Estudios sobre Ciencia, Desarrollo y Educación Superior. https://cendoc.esan.edu.pe/fulltext/e-documents/OEA/Situacion_CT_Americas.pdf

Alciaturi, G., García-Rodríguez, M. del P., y Fernández, V. (2024). A way for explaining Geo Big Data through its characteristics, sources, and central support technologies. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 60(1), 102–119. <https://doi.org/10.23854/07199562.2024601.alciaturi>

Alciaturi, G., García-Rodríguez, M. del P., y Fernández, V. (2024). A way for explaining Geo Big Data through its characteristics, sources, and central support technologies. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 60(1).

Alonso, Á. (2023). *Guiado GNSS de tractores; análisis de diferentes opciones en el posicionamiento* (Tesis de grado). Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/63096>

Ancasi Esteban, C. E. (2025). *Evaluación del nivel de riesgo por deslizamiento de material coluvial a través de fotogrametría digital en la vía Izcuchaca-Acostambo del 2024*. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/9601>

Awad, M. (2020). The ancient Egyptian cubit and its subdivisions. *Journal of Egyptian History*, 13(2), 115–130. https://www.academia.edu/126497830/Ancient_Egyptian_Cubits_Origin_and_Evolution

Bondarenko, O. V. (2025). Teaching geography with GIS: A systematic review, 2010–2024. *Science Education Quarterly*, 2(1), 24–40. <https://doi.org/10.55056/seq.903>

Bartelme, N. (2005). *Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen* (4.^a ed.). Berlín, Alemania: Springer-Verlag.

Bréard, A. (2022). History of Science and Technology in China: une histoire vue de l'intérieur de la Chine. *Revue des Questions Scientifiques*, 193(1-2), 157-164. <https://www.rqs.be/app/views/revue.php?id=553>

Carreto Bernal, F. (2023). *El enfoque geográfico en los procesos educativos*. Ediciones Comunicación Científica. <https://doi.org/10.52501/cc.145>

Ccente Pineda, E. A., y La Torre Ruiz, F. M. (2003). *El devenir de la geografía en el Perú* [Tesis inédita, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/1256>

Chaumeil, J. P., Delgado Estrada, J. M., y Lomné, G. (2011). Proyecto de publicación del Atlas geográfico del Perú de Mariano Felipe Paz Soldán, París 1865. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 40(3), 599–601. <https://doi.org/10.4000/bifea.1346>

CAPÍTULO 4. LAS NEOGEOTECNOLOGÍAS EN LA FORMACIÓN DEL GEÓGRAFO:
TRANSFORMACIÓN DEL APRENDIZAJE EN EL PERÚ

- Chen, S., Yan, Q., Qu, Y., Gao, W., Yang, J., y Deng, F. (2025). Ortho-NeRF: generating a true digital orthophoto map using the neural radiance field from unmanned aerial vehicle images. *Geo-Spatial Information Science*, 28(2), 741–760. <https://doi.org/10.1080/10095020.2023.2296014>
- Cuadra, D. (2020). Geotecnologías en el Perú: Avances y perspectivas. *Huellas (Corrientes)*, 24(1). <https://doi.org/10.19137/HUELLAS-2020-2403>
- Di Leo, N. C., y Rosalen, D. L. (2023). *Las geotecnologías en el desarrollo sostenible*. Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM). https://grupomontevideo.org/publicaciones/wp-content/uploads/2023/05/Libro-GeotecODS_2023_AUGM-ND-GyCA.pdf
- Facultad de Ciencias Sociales, UNMSM. (2024). *Reseña histórica de la Facultad de Ciencias Sociales*. <https://csociales.unmsm.edu.pe/resena-historica-de-la-facultad-de-ciencias-sociales/>
- Freddo, B. V. (2023). Geotecnologías en la gestión de la información geográfica: La mapoteca virtual universitaria. *Docentes Conectados*, 6(11), 67–79. <https://revid.unsl.edu.ar/index.php/dc/article/view/227>
- Fulzele, V. S., y Athawale, S. V. (2024). GPS Technology: A Review, Architecture and Working. *International Journal of Ingenious Research, Invention and Development*, 3(5), 543-549. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14230440>
- García González, J. A. (Coord.). (2023). *El lugar de la geografía, la geografía del lugar* (1.ª ed.). Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. https://doi.org/10.18239/jornadas_2023.48.00
- Gonzales de Posada, F. (2005). *La expedición geodésica al virreinato del Perú: Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Mediciones y cálculo de un arco de meridiano asociado a un grado en el Ecuador*. <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9022/CC94art1.pdf>
- Gutiérrez Valencia, J. (2025). *Desarrollo de proyectos topográficos mediante diferentes procesos: diferencias y ventajas de tecnología gnss rtk y tecnología lidar en el ámbito topográfico antioqueño*. Trabajo de grado. Universidad de Antioquia. <https://hdl.handle.net/10495/47580>
- Harley, J. B., y Woodward, D. (Eds.). (1987). *Cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. University of Chicago Press. https://press.uchicago.edu/books/hoc/HOC_V1/Volume1.html
- Hosseiny, B., Mahdianpari, M., Hemati, M., Radman, A., Mohammadimanesh, F., y Chanussot, J. (2024). Beyond supervised learning in remote sensing: A systematic review of deep learning approaches. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 1035–1052. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3316733>
- Ingle, S. N., Mondal, B. P., Patel, C., y Prasad, J. (2025). Leveraging remote sensing and geospatial technologies in soil and water resources mapping and characterization: A review. *Agricultural Reviews*, 46(5), 703-711. <https://doi.org/10.18805/>

ag.r-2789

- Instituto Geográfico Nacional. (2015). *Historia del Instituto Geográfico Nacional*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2743191/LIBRO_IGN.pdf
- Isaac, T. (2023). Eratosthenes' Geography: Fragments collected and translated, with commentary and additional material. *Comparative Civilizations Review*, (88), 146-150. <https://doi.org/10.1353/clw.2011.0102>
- Kang, Y., Gao, S., y Roth, R. E. (2023). *Artificial Intelligence studies in cartography: A review and synthesis of methods, applications, and ethics*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2312.07901>
- Kraak, M. J., y Ormeling, F. (2020). *Cartography: Visualization of geospatial data* (4.^a ed.). CRC Press.
- Leoni, M. (2022). Evolución de la imagen aérea militar 1859-2015: De globos a drones. *Cartografía Militar*, 203. <https://digital.casalini.it/9788892955523>
- Ley García, J., y Yépez Rincón, F. D. (2022). *Geotecnologías en el análisis de riesgos*. Universidad Autónoma de Baja California y Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://www.selper.org.mx/publicaciones/>
- Li, S., Dragicevic, S., y Veenendaal, B. (2016). *Advances in web based GIS, mapping services and applications* (2.^a ed.). CRC Press.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., y Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7.^a ed.). Wiley.
- Linder, W. (2016). *Digital photogrammetry: A practical course* (5.^a ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-50463-5>
- Liu, X., Chen, M., Claramunt, C., Batty, M., Kwan, M.-P., Senousi, A. M., Cheng, T., Strobl, J., Cöltekin, A., Wilson, J., Bandrova, T., Konecny, M., Torrens, P. M., Zhang, F., He, L., Wang, J., Ratti, C., Kolditz, O., Klippel, A., Li, S., Lin, H., Lü, G., The Innovation. (2022). Geographic information science in the era of geospatial big data: A cyberspace perspective. *The Innovation*, 3(5), 2666-6758. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2022.100279>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., y Rhind, D. W. (2021). *Geographic information science and systems* (5.^a ed.). Wiley. <https://tinyurl.com/44e7f7xt>
- Liu, T. et al., (2022). *Innovación y transformación digital en el análisis espacial*.
- Matthew, C. A. (2023). *Historical background. En Eratosthenes and the measurement of the Earth's circumference* (c. 230 BC). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198874294.003.0001>
- Mehmood, M., Shahzad, A., Zafar, B., Shabbir, A., y Ali, N. (2022). Remote sensing image classification: A comprehensive review and applications. *Mathematical problems in engineering*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/5880959>
- Morocho, Villie. (2024). Introducción a Python para geociencias. *Revista cartográfica*,

- (109), 137-139. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i109.5857>
- Moseley, M. E. (2001). *The Incas and their ancestors: The archaeology of Peru* (revised ed.). Thames y Hudson.
- Muñoz, E., y Fernández Arroyo, A. (2024). Geografía y ApS para la enseñanza social, espacial, cultural y territorial en la universidad. *European Public y Social Innovation Review*, 9, 1–18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-837>
- National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (s. f.). *Landsat 1* [Science Mission].
- Nosolosig. (2022). *Geotecnologías: ¿hacia dónde mirar? NoSoloSIG*. <https://www.nosolosig.com/articulos/geotecnologias-hacia-donde-mirar>
- Ohnesorge, M. (2022). *Cómo Newton derivó la forma de la Tierra*. Sociedad Estadounidense de Física.
- Paz Soldán, M. F. (1865). *Mapa general del Perú*. Librería de Augusto Durand. <https://www.davidrumsey.com/maps2846.html>
- Pérez, H. (2022). *Imágenes del progreso: Fotografía y obras públicas en el siglo XIX* (Serie Investigación, n.º 48). Ediciones Complutense. <https://digital.casalini.it/9788466937092>
- Prestby, TJ (2025). Confianza en los mapas: qué sabemos y qué necesitamos saber. *Cartografía y Ciencias de la Información Geográfica*, 52 (1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/15230406.2023.2281306>
- Quirós-Arias, L., Alvarado-Sánchez, M., Orozco-Montoya, R. A., Jalet-Quesada, S., y Bolaños-Alvarado, B. (2024). Revista Geográfica de América Central: 50 años aportando al intercambio de conocimiento científico. *Revista Geográfica de América Central*, 73E(3), 1-24. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/download/20246/32047/96574?inline=>
- Reinhard, A. y Zaia, S. (2023). Fotogrametría y SIG en paisajes digitales ocupados por humanos. *Avances en la práctica arqueológica*, 11 (2), 198–210. <https://doi.org/10.1017/aap.2022.30>
- Rodríguez De La Fe, D. (2024). *Historia, evolución y desarrollo de la navegación a vela* [Tesis de grado, Universidad de La Laguna]. Repositorio Institucional RIULL. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/38376>
- Rocha Salamanca, L. Á., y Díaz Vega, N. A. (2010). Las geotecnologías como herramientas importantes en la educación de la geografía. *UD y la Geomática*, 4, 44–52. <https://doi.org/10.14483/23448407.3656>
- Santoso, A. B., Juhadi, Wijayanto, P. A., Setiawan, S., Sa'adah, N., Masrurroh, N., y Rahmah, N. A. (2021). The utilization of technology-based WebGIS as an effort to establish the spatial thinking ability of geographic students in high school. En *Proceedings of the 6th International Conference on Education y Social Sciences* (ICESS 2021) (21-25). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210918.005>

- Santos, H. B., Schreurs, J., y Predescu, E. (2021). The challenges of technology integration in higher education. *Journal of Educational Technology Systems*, 50(1), 50-71.
- Sharma, S. (2025). Geographical Information System (GIS). *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 5(2), 612-618. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-26278>
- Simoson, A. (2012). *The Measure of All Things by Ken Alder*. Math Intelligencer 34, 73–74. <https://doi.org/10.1007/s00283-012-9316-x>
- Sosa, J. M., Sosa Veras, P. E. y Mejía, E. (2026). *Municipal map model for the Dominican Republic, using drone-based digital photogrammetry and GIS. Case study: San José de Ocoa urban area*. SAP Land and Architecture.
- Jía, E. (2025). Digital Photogrammetry and Geographic Information Systems: A Review. *Land and Architecture*, 4, 160. <https://doi.org/10.56294/la2025160>
- Steiniger, S., y Hunter, A. J. S. (2013). The 2012 free and open source GIS software map—a guide to facilitate research, development, and adoption. *Computers, Environment and Urban Systems*, 39, 136–150.
- Suárez, S. (2022). *Open Data Cube en la nube*. Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/59349>
- Tauro del Pino, A. (2001). *Enciclopedia ilustrada del Perú*. PEISA.
- Tavares, L. M., Sampaio, T. P., Corrêa, T. G., Thue, P. S., Castro, A. S., Leandro, D., Quadros, M. S., y Andreazza, R. (2025). Modelo altimétrico obtido por GNSS, topografia e RPA para gestão de inundações urbanas: Estudo de caso no bairro Porto, Pelotas-RS. *ARACÊ*, 7(7), 37359–37377. <https://doi.org/10.56238/arev7n7-125>
- Thakur, N., Virk, A., y Nanda, V. (2024). Geospatial intelligence: A comprehensive review of emerging trends and applications in 2024. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(9), 376–381. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.0924.2413>
- Thrower, N. J. W. (2008). *Maps and civilization: Cartography in culture and society* (3.ª ed.). University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/M/bo5586875.html>
- Toscano, F., et al. (2012). Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture: A Review. *IEEE Access*, 12, 69188–69205. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3401018>
- Tomlinson, R. (2007). *Thinking about GIS: Geographic information system planning for managers* (3.ª ed.). ESRI Press.
- Vaz, E. (2024). Innovaciones en análisis espacial: El impacto de los SIG y Python en las sociedades del conocimiento. En: *Economías regionales del conocimiento. Contribuciones a la ciencia regional*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76906-1_6
- Verma, R. y Kotwal, M. (2025). GIS: A tool, science and service. *The Academic*, 3(8), 1369-1378

Capítulo 5. Las unidades de paisaje en la evaluación del potencial turístico en el Área Natural Protegida Laguna de Mecoacán

SANDIBELL AQUINO LÓPEZ ¹

JOSÉ FRANCISCO JUÁREZ-LÓPEZ ²

ÁNGEL ADIEL MARTÍNEZ RODRÍGUEZ ³

JOSÉ JESÚS OBRADOR OLAN ⁴

LETICIA ORTIZ SALAS ⁵

Introducción

En México, las Áreas Naturales Protegidas (ANP), son reconocidas por su alto valor ecológico, ya que sus recursos naturales y culturales son clave importante para implementar el turismo. La belleza escénica de estos espacios naturales representa un activo territorial capaz de generar beneficios económicos. Algunos autores señalan, esta relación ANP con los visitantes conceptualizan como paisaje hedónico, es decir, propicia una demanda

-
- 1 Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área de Ciencia Ambiental. Tabasco, México.
 - 2 Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área de Ciencia Ambiental. Tabasco, México.
 - 3 Universidad Popular de la Chontalpa, División de Ciencias Económico-Administrativas. México.
 - 4 Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área de Ciencia Ambiental. Tabasco, México.
 - 5 Universidad Popular de la Chontalpa, División de Ciencias Económico-Administrativas. México.

turística que genera beneficios económicos, siempre y cuando se conserve el recurso (Libert, 2019).

En este sentido, el estado de Tabasco tiene 18 ANP con grandes superficies que suman un total de 427,135.32 hectáreas; las cuales poseen características que muestran su vocación turística, así como el área de estudio de la presente investigación que corresponde al Parque Estatal Laguna de Mecoacán (Gobierno del Estado de Tabasco, 2023) cuyas comunidades manifiestan su interés por aprovechar los recursos naturales y culturales mediante la implementación de actividades turísticas (López *et al.*, 2018). Considerando lo antes expuesto, resulta fundamental realizar estudios técnicos que faciliten la planificación del turismo. De esta manera, se partió de la identificación de las unidades de paisaje (UP) para determinar el potencial turístico de sus recursos (Salinas *et al.*, 2019), atribuyendo que la metodología utilizando pueda beneficiar otras áreas de estudio, promover el equilibrio entre beneficios ambientales, sociales y económicos; contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 1, 8, 12 y 14 (Folch y Bru, 2017).

Antecedentes

En la actualidad, la sociedad se encuentra en una etapa postpandemia, resultado de la crisis de salud mundial del COVID-19 que afectó a todos los sectores económicos. En particular el turismo, lo cual experimentó cambios significativos en los hábitos de consumo.

El perfil del turista muestra mayor preferencia por experiencias sostenibles, debido a diversos factores sociales, políticos, económicos, tecnológicos y ambientales. La globalización ha tenido grandes retos para el mercado ya que no está exento y debe adaptarse a un contexto en constante cambio y dinámico. Por ello, los turistas buscan nuevas experiencias (Bassan, 2022).

Así, el creciente deterioro ambiental en el mundo, ha generado mayor preocupación en la población pues esto se ve reflejado en una mayor demanda por modalidades turísticas de bajo impacto ambiental y cultural principalmente. Estas circunstancias han generado con el tiempo, nuevos conceptos de turismo. Por ello, se han planteado diferentes modalidades y segmentos de turismo, así como nuevas formas de conceptualizarlos. Por esta razón, han surgido diversos enfoques tales como: Turismo de naturaleza y el Turismo alternativo (Quesada, 2010).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP) (CONANP, 2024), las comunidades rurales ubicadas en las ANP ofrecen condiciones idóneas para desarrollar actividades relacionadas con el turismo alternativo, especialmente el ecoturismo. No obstante, algunas se localizan dentro como en los alrededores de las ANP; enfrentan problemas ambientales, sociales, económicos (ASE) (Tlapa *et al.*, 2020; Romaní y Vázquez, 2023) y de infraestructura.

Entre los problemas presentes, están los altos índices de marginación (Riemann *et al.*, 2011) y la dependencia de la población por los recursos para la subsistencia. La deforestación provocada por agentes locales y foráneos pone en peligro a diversas especies de fauna y vegetación; especialmente las que se encuentran en peligro de extinción (Torres *et al.*, 2020). Además, se observan deficiencias en la infraestructura, y planta turística, tales como la educación, los servicios de salud, y el hospedaje.

Con relación al conjunto de elementos (ANP) el paisaje, las comunidades y los visitantes participan en la dinámica de las actividades turísticas. Su relación intrínseca refleja el potencial turístico de un lugar que debe equilibrarse en los tres ejes de la sostenibilidad: ASE (Martínez *et al.*, 2021). De esta forma, se atiende la Agenda 2030, sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas.

De los 17 ODS resaltan cuatro de ellos están relacionados con la actividad turística. Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo; Objetivo 8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos; Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos.

Consideraciones teóricas

La presente investigación adopta un enfoque sistémico, el cual concibe al territorio como un sistema de interacciones, donde cualquier actividad turística impacta al sistema en su totalidad (Martínez, 2013; Acosta y García, 2016). En este sentido las aportaciones teóricas tienen como objetivo principal, planificar el turismo con un enfoque que contribuya a la práctica sostenible de actividades turísticas en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Ramón *et al.*, 2025).

La planificación del paisaje como elemento fundamental del turismo permite comprender y analizar su relación e interacciones (Barros *et al.*, 2021). De esta manera permite plantear una metodología estructurada en tres etapas: análisis, diagnóstico y pronóstico. El objetivo es asegurar que el desarrollo turístico sea compatible con la conservación de la biodiversidad de las ANP (Albuja, 2020).

La primera etapa, el análisis, se centra en las unidades de paisaje (UP). Estas se fundamentan en las aportaciones teóricas de la geografía del paisaje y ecología del paisaje. Al combinar ambos enfoques, las UP se definen de manera integral, considerando sus atributos biofísicos (ecología del paisaje) como lo es sus valores culturales (geografía del paisaje) (Bollo *et al.*, 2023).

Para la delimitación y valoración de las UP, incluyendo sus componentes abióticos, bióticos y culturales (Mazzoni, 2014; Bollo y Martínez, 2023), se toma como referencia los trabajos de Barrasa *et al.* (2013 y 2018) y Martínez *et al.* (2021). Este enfoque es crucial para determinar el potencial turístico de un

área, ya que permite zonificar el territorio de unidades espaciales y conocer su vocación turística (Salinas *et al.*, 2019). Para llevar a cabo lo anterior, se utilizan mapas temáticos como vegetación, uso de suelo, hidrología, entre otros.

La cartografía del turismo alternativo

La información cartográfica generada, es de utilidad en el reordenamiento de las actividades económicas y sociales relacionadas con el desarrollo turístico. Lo que demuestra la importancia de valorar los recursos naturales mediante el análisis de la percepción de diversos actores que intervienen en su uso y aprovechamiento (Salinas y Remond, 2015; Folch y Bru, 2017). En otras palabras, el valor que le otorgan al paisaje y sus componentes es de utilidad para plantear escenarios futuros a partir de posibles variables que modifican el paisaje natural; principalmente para cumplir el objetivo de fomentar el turismo sostenible en el territorio nacional (Martínez *et al.*, 2021).

En la integración de los subsistemas ambiental, social y económico (ASE), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son de ayuda tecnológica que permite la adquisición, almacenamiento, análisis, gestión y visualización de datos geográficos para comprender patrones, relaciones y fenómenos espaciales así como identificar sus recursos naturales y culturales para el turismo. Resulta una herramienta poderosa para integrar datos provenientes de diversas fuentes y representarlos en un contexto espacial (Buzón *et al.*, 2023).

En este sentido, destaca la combinación de componentes tecnológicos, datos geográficos y procesos necesarios para lograr un SIG eficiente. Utilizar datos geográficos como mapas, imágenes satelitales, coordenadas geográficas y atributos específicos (SIG) permiten la toma de decisiones informadas y la resolución de problemas en una amplia variedad de disciplinas, por ejemplo, la gestión ambiental, planificación urbana, agricultura, salud pública y más (Pilatasig y Tipanluisa, 2024).

Es importante destacar el desarrollo y elaboración de la cartografía de los mapas de UP comunitario, ubicación de los recursos naturales y culturales como la identificación de las actividades turísticas (turismo alternativo) con la participación de los habitantes de la comunidad. Algunos autores como Narváez *et al.* (2018) mencionan que para establecer cualquier actividad turística es necesario realizar sinergias con los habitantes de la localidad, por medio de su empoderamiento realizar la toma de decisiones como la gestión de la educación ambiental y la participación comunitaria, lo que posibilita la implementación y el éxito del turismo alternativo.

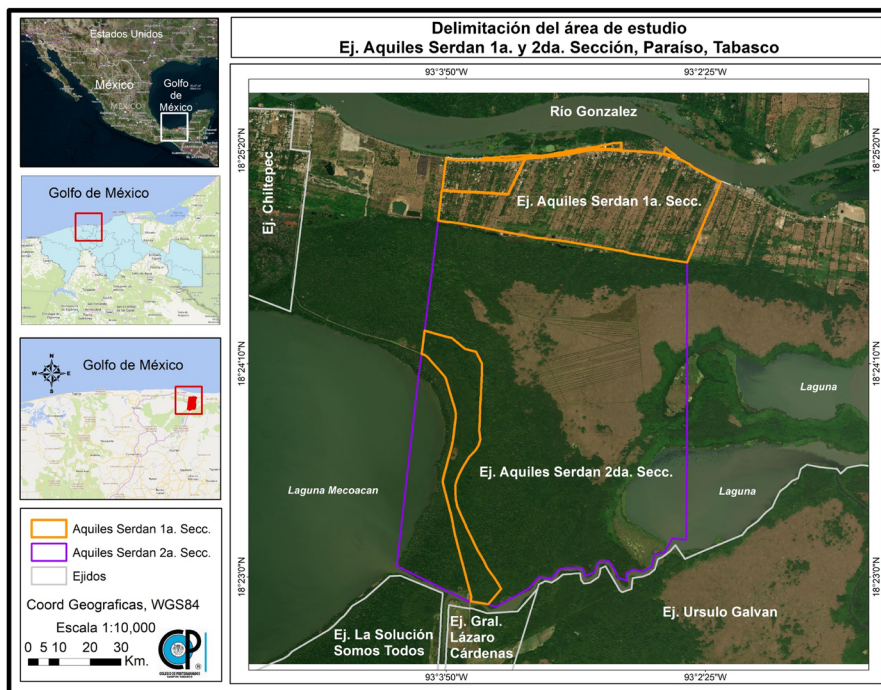
Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en el Área Natural Protegida (ANP) dentro de la categoría Parque Estatal Laguna de Mecoacán; la cual se encuentra situada en el extremo oeste de la costa de Tabasco los municipios de Paraíso y

Jalpa de Méndez (Domínguez *et al.*, 2003). Una de las características generales del ANP es que forma parte del sistema lagunar de Mecoaacán y se caracteriza por su alta biodiversidad; particularmente asociada a la presencia de bosques de manglar.

El Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección participa en la reforestación del manglar impulsada por CONAFOR con mangle rojo (*Rhizophora mangle*), blanco (*Laguncularia racemosa*) y negro (*Avicennia germinans*); especies consideradas como amenazadas por la NOM-059-SEMARNAT-2010. La comunidad se cita de acuerdo a lo instituido en el Registro Agrario Nacional como 1ª y 2ª Sección: la primera es área parcelada y la segunda de uso común, con 79 certificados que abarcan el 1.25% de las 740 ha. Finalmente, la superficie analizada excluye la tercera sección (ranchería) (Figura 1).

Figura 1. Delimitación del área de estudio Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección



Fuente: elaboración propia (2025).

El clima que presenta es cálido-húmedo con abundantes lluvias durante el verano, siendo los meses más calurosos los comprendidos entre mayo y agosto con temperaturas que sobrepasan los 34 °C (García, 2004).

En la zona existen diez comunidades que pertenecen a la Laguna de Mecoacán que para el desarrollo del presente estudio se seleccionó el Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección del municipio de Paraíso Tabasco, México (ver Figura 2); debido a que los habitantes de esta comunidad en particular manifestaron interés por el desarrollo e implementación de proyectos turísticos. El presente trabajo se sustenta en tres etapas principales que se desarrollan a continuación.

I. Definición de las unidades de paisaje del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección del Área Natural Protegida de la Laguna de Mecoacán.

El presente análisis ambiental se realizó a través del trabajo del gabinete y la recolección de datos de fuentes primarias. Se realizó un recorrido exploratorio de campo del que se obtuvo este inventario de los recursos naturales. Se definen las UP de acuerdo con la metodología de Barrasa (2023) quien describe que se delimitan mediante geoprocesamiento con un SIG en relación con el componente central, es decir, un elemento que predomine en el área de estudio (Gómez y Riesco 2010; Mazzoni 2014).

Los datos fueron tomados de la Serie VII del INEGI, Colección de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación de Google Earth Pro, imágenes satelitales de la colección 2 de Landsat 7 nivel 1, 30 m de resolución espacial y recorridos en campo. Con lo anterior, se elaboró el mapa de uso de suelo y vegetación a una escala de 1:10 000 con el apoyo del Software Qgis 3.34.3. Teniendo como resultado de ello la cartografía digital correspondiente a las UP y puntos de control representados para el mapa base del área de estudio.

Durante el recorrido exploratorio de campo, se tomaron una serie de fotografías que corresponden a las UP, considerando diversos ángulos de percepción de cada recurso natural, los cuales se ubican geográficamente mediante el apoyo de un GPS, permitiendo una mejor apreciación y visualización de dichos recursos, y con la participación de la comunidad para su valoración.

II. Mapa participativo de las unidades de paisaje para identificar los recursos naturales, culturales y turísticos del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección.

En esta etapa, se realizó un segundo recorrido de campo, el cual consistió en verificar la información obtenida de las UP origino un mapa base de éstas. Con apoyo de material didáctico los habitantes de la comunidad participaron e interactuaron entre sí para localizar sus recursos naturales y culturales junto con las actividades turísticas potenciales que ayuden a corroborar los datos previamente obtenidos.

Así mismo, se realizaron entrevistas a informantes clave de la comunidad, incluyendo la presidenta del comisariado ejidal del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección (en ese período en funciones). La información recopilada se registró

en un SIG para la obtención y diseño del mapa participativo de las UP con la ubicación de los recursos naturales, culturales y turísticos (Pérez, 2013).

III. Identificación del potencial turístico el Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección del Área Natural Protegida de la Laguna de Mecoacán.

En la tercera etapa se identificó el potencial turístico del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección del ANP de la Laguna de Mecoacán, Paraíso, Tabasco, para lo cual se integró lo recopilado en el recorrido exploratorio de campo, las UP, el mapa socioambiental participativo y la Ficha SECTUR (2004).

Una vez identificadas y delimitadas las UP con sus respectivos recursos, previamente detallados por la comunidad y apoyadas con la fotografía (UP) se pudo llevar a cabo la valoración de los recursos naturales y culturales por los integrantes de la comunidad, utilizando la ficha propuesta por la SECTUR (2004). Dicha ficha integra a los aspectos registrados de forma organizada, con el fin de conocer los recursos con potencial turístico para la implementación del turismo en la comunidad.

Resultados

Caracterización de las unidades de paisaje del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección del Área Natural Protegida de la Laguna de Mecoacán

En la Cuadro 1 y Figura 2 se presentan las características específicas que corresponden a las Unidades de paisaje (UP). La primera columna muestra las abreviaciones para identificar su orden (Delgado y Pantoja 2016): UP1, UP2, UP3, UP4. La segunda y la tercera columna corresponden a los nombres identificados tanto por la comunidad como por las instituciones.

A este respecto, cabe señalar que la comunidad tiene amplio conocimiento sobre sus recursos lo que facilita la identificación de los mismos con sus propios nombres (Sorani y Alquicira, 2015; Neto y Suzuki, 2023). Como resultado de lo anterior, se identificaron cuatro UP las cuales se mencionan a continuación con la denominación técnica: UP1 Cocotero, UP2 Manglar, UP3 Popal-Tular, UP4 Laguna de Mecoacán y Laguna Tinajita.

Por último, la cuarta y quinta columna contienen la ubicación geográfica y la superficie correspondiente. Destacando la UP2 Manglar con mayor superficie (Spalding *et al.*, 1997) seguido de la UP1 Cocotero y UP3 Popal-Tular; siendo la UP4 Laguna de Mecoacán y Laguna Tinajita las de menor superficie. A partir de este tema subsecuente se hará referencia a los nombres de las UP de acuerdo con la identificación generada durante la investigación.

Con base en el mapa elaborado con los habitantes de la comunidad y la investigación de las diferentes fuentes secundarias de la región del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección (Gómez *et al.*, 2018; Salinas *et al.*, 2019). Se ilustra en la Figura 2, la distribución espacial de las UP de acuerdo con el elemento que más predomina, identificadas como: UP1 Agricultura, UP2 Manglar, UP3 Espadañal, UP4 Laguna.

Cuadro 1. Identificación de las UP el Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección

UP	Identificación por la comunidad	Identificación por las instituciones	Localización		Superficie (ha)
UP1	Cocotero	Agricultura	18°25'07.24"N	93° 2'57.37"O	234. 47 ha
UP2	Manglar	Manglar	18°23'44.41"N	93° 3'36.90"O	580. 93 ha
UP3	Popal-Tular	Espadañal	18°24'11.02"N	93° 3'2.09"O	214. 46 ha
UP4	Laguna de Mecoacán	Laguna	18°23'39.27"N	93° 3'57.38"O	84. 32 ha
	Laguna		18°23'23.37"N	93° 2'40.99"O	
	Tinajita				

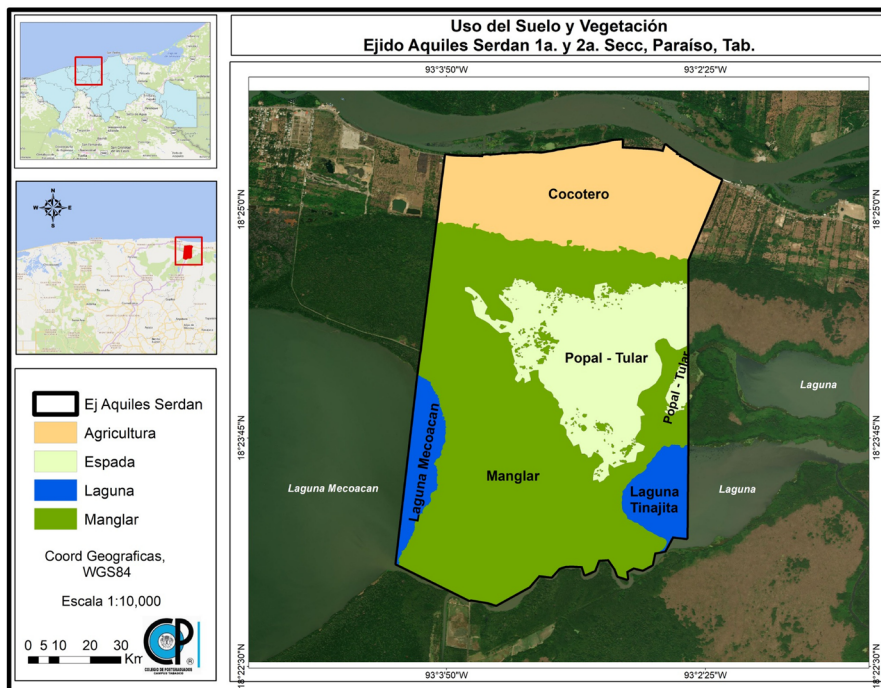
Fuente: elaboración propia (2025).

Dentro de las UP definidas en la zona de estudio resaltan los atractivos naturales, añadiendo un valor social y aportando criterios cuantitativos para su valoración (Ramón *et al.*, 2025), convirtiendo al paisaje en un recurso para la consolidación de la oferta turística de los espacios naturales (Santos *et al.*, 2016). Como resultado, se benefician las comunidades aledañas al Área Natural Protegida (ANP), al igual que los potenciales turistas; asimismo es una oportunidad de crecimiento económico a partir de la actividad turística (Romo, 2019).

Con los resultados mencionados acerca de la riqueza de los recursos naturales (Delgado y Pantoja 2016), en la Cuadro 2 se presenta una síntesis de los paisajes característicos en la costa en cada UP; también áreas inundadas permanentemente con agua dulce por ambos lados de los lechos mayores y menores, los cuales forman parte de zonas mayormente deprimidas que sirven como receptoras del agua fluvial o lagunas (Guerra y Ochoa, 2008).

Con relación a la flora presente en las UP, se tiene un registro de 273 especies, destacando el bosque de manglar. En lo que se refiere a la fauna terrestre y acuática, existe un registro de 106 especies de aves, 32 especies de peces y 25 especies de macrocrustáceos (Domínguez *et al.*, 2003).

Figura 2. Unidades de paisaje (UP) identificadas en el Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª



Fuente: elaboración propia (2025).

Con relación al tipo de suelo, únicamente la UP1 posee el tipo regosol eutrítico, caracterizado por una capa ócríca que se endurece y forma costras al ser desprovista de vegetación. Debido a sus limitaciones edafológicas, su uso agrícola es restringido y depende de factores como la profundidad del suelo, la presencia de piedras y la fertilidad (Bautista, 2017).

Por otro lado, en las UP2 Manglar, UP3 Espadañal y UP4 Laguna, predominan los gleysoles que se caracterizan por ser suelos establecidos sobre materiales no consolidados (INEGI, 2012) que presentan propiedades gléyicas (saturación de agua durante ciertos períodos o en todo el año). La vocación de estos suelos es forestal de selvas bajas (Bautista, 2017).

Cuadro 2. Descripción general de cada UP el Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección

UP	Descripción
UP1	Predomina la agricultura de temporal que se evidencia por la presencia de cultivos anuales como el maíz (<i>Zea mays</i>), el camote (<i>Ipomoea batatas</i>), la yuca (<i>Manihot esculenta</i>), la calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>), frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y arroz (<i>Oryza sativa</i>); mientras que los perennes de coco son los predominantes (<i>Cocos nucifera</i>), papaya (<i>Carica papaya</i>), plátano (<i>Musa paradisiaca</i>), caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), naranja (<i>Citrus sinensis</i>), limón (<i>Citrus limon</i>), y mango (<i>Mangifera indica</i>). El tipo de suelo que presenta es Regosol eutrico.
UP2	Este ecosistema se desarrolla en áreas sujetas a inundaciones periódicas de aguas salinas de las costas, pero protegidas de una vigorosa acción del oleaje. El manglar se caracteriza por tener raíces aéreas y, generalmente, se encuentra en tipos de aguas salobres; desarrollándose sobre suelos que permanecen constantemente inundados. Los tipos existentes son: mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>), mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>) y mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>) (Monroy et al., 2014). Por otro lado, existen áreas puntuales con presencia de manglar perturbado donde el helecho rabo de lagarto (<i>Acrostichum aureum</i> o <i>A. danaeifolium</i>) se encuentra presente como elemento indicador de perturbación (Moreno y Infante, 2010). El tipo de suelo que presenta es Gleysol.
UP3	El popal-tular es una asociación de plantas herbáceas de tolerancia acuática que se encuentran arraigadas al fondo (<i>hidrófitas enraizadas emergentes</i>). La zona de popal se define por la presencia de áreas de (<i>Thalia geniculata</i>), mientras que las de tular se identifican por la presencia de espadaña (<i>Typha latifolia</i>) con carrizal (<i>Olyra latifolia</i>) y plantas acuáticas; mismas que entre sus características muestran que los tallos y hojas sobresalen de la superficie del agua (Ochoa et al., 2018). Así mismo, en las zonas de inundación temporal es posible encontrar áreas con la dominancia de especies como macuilís (<i>Tabebuia rosea</i>) y sauce (<i>Salix chilensis</i>). El tipo de suelo que presenta es Gleysol.
UP4	El sistema lagunar de Mecoacán es un gran sistema de humedales, formando una zona de subsidencia en el borde continental costero. Este sistema ha sido creado por movimientos generalizados de la dinámica fluvial (de subida o de bajada), basamento del delta fluvial de los ríos Tonalá, Mezcalapa - Grijalva y Usumacinta (George y Aldana, 2000). El piso lagunar es sensiblemente llano y tiene abundantes bancos orgánicos (Galavíz y Solís, 1986). El tipo de suelo que presenta es Gleysol.

Fuente: elaboración propia (2025).

Potencial de las actividades turísticas de los recursos naturales y culturales del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección

En la Cuadro 3, se muestran las actividades turísticas potenciales del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección por cada UP. En general, estas UP se caracterizan por ser un paisaje típico de un sistema hidrológico de laguna y mar (Geraldí, 2009; Geraldí *et al.*, 2011; Zuccarini y Geraldí, 2019), debido a su ubicación a la Costa del Golfo de México, asociado a una riqueza florística y faunística.

Mediante el análisis de las UP para conocer el potencial turístico, se identificaron 13 actividades específicas. Sin embargo, las actividades se repiten en cada UP. Estas actividades turísticas específicas son: talleres gastronómicos, senderismo en el apiario, camping, talleres de educación ambiental, safari fotográfico, recorrido en cayuco, caminatas en puente colgante, avistamiento de aves, lanzamiento en tirolesa, paseos en lancha, observación de flora y fauna, kayak y pesca recreativa.

Referente a las actividades turísticas, de manera aleatoria, las cuatro UP representan un total de 20 actividades. Como resultado de lo anterior, se visualiza un desarrollo potencial para implementar el turismo alternativo, teniendo un mayor predominio del segmento del ecoturismo y turismo de aventura (Caviedes y Olaya, 2018; Buitrago *et al.*, 2022).

Algunas de estas actividades se repiten en las diferentes UP, aunque solo el safari fotográfico se encuentra presente en las cuatro UP. A su vez, se delimitaron actividades específicas que resaltan en ciertas UP como: talleres gastronómicos, senderismo en el apiario, camping, talleres de educación ambiental, paseos en lancha, lanzamiento en tirolesa y pesca recreativa.

Cabe destacar que la zona de estudio es parte del ANP en la Laguna de Mecoaacán, ya que implementa actividades turísticas en Áreas de gran valor natural y cultural; por ello, requiere mayor conocimiento técnico, destreza y habilidades específicas para garantizar que se realicen de manera segura, sostenible y respetuosa con el entorno.

Con relación a ello, el turismo en las ANP se concibe como una actividad económica que trae consigo innumerables beneficios ASE (Fajardo, *et al.* 2011; CONANP, 2019). Aunque la biodiversidad y los objetivos socioeconómicos no son sistemáticamente antagónicos (Chung *et al.*, 2018; Díaz *et al.*, 2018; O'Connor *et al.*, 2021), el desarrollo humano suele ser perjudicial para la conservación de la biodiversidad (Moreno *et al.*, 2019; García, 2020).

Lo que genera efectos negativos de acuerdo al Marco Estratégico de Turismo Sustentable en Áreas Naturales Protegidas de México (CONANP, 2018) como es la contaminación, sobrecarga de la infraestructura, cambio de uso de suelo, generación de residuos sólidos y líquidos; destrucción o alteración de hábitats, elevado consumo de recursos, tráfico e introducción de especies exóticas, afectación de especies presentes en los sitios que se usan como destinos

turísticos; lo que hace que algunas ANP sean ineficaces para lograr su objetivo principal y la protección de la naturaleza (Tesfaw *et al.*, 2018; Williams *et al.*, 2022; Zeng *et al.*, 2020).

Ahora bien, para el año 2030, el turismo alcanzará una mayor conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y del patrimonio cultural para su ordenamiento en las ANP; incluyendo la participación local y el cumplimiento de las políticas aplicadas para promover el desarrollo local (CONANP, 2018).

Cuadro 3. Actividades turísticas potenciales en las UP del Ejido Aquiles
Serdán 1ª y 2ª Sección

UP	Actividades turísticas potenciales en las UP
UP1 Agricultura	• Talleres gastronómicos • Senderismo en el apiario • Camping • Talleres de educación Ambiental • Safari fotográfico • Observación de aves
UP2 Manglar	• Recorrido en cayuco • Caminatas en puente colgante • Avistamiento de aves • Safari fotográfico • Lanzamiento en tirolesa
UP3 Espadañal	• Paseos en lancha • Safari fotográfico • Observación de flora y fauna
UP4 Laguna	• Paseo en lancha • Pesca Recreativa • Kayak • Observación de flora y fauna • Safari fotográfico • Recorrido en cayuco

Fuente: elaboración propia (2025).

Para llevar a cabo una planificación turística, es fundamental considerar todos los elementos que la componen. Esto incluye infraestructura básica (Cartuche *et al.*, 2018; Salinas *et al.*, 2019) como carreteras y caminos que facilite el acceso; los mismos servicios esenciales como agua potable, electricidad y comunicación que garanticen una estancia confortable. Además, es necesario

ofrecer servicios de calidad, tales como el alojamiento, alimentos y bebidas; actividades recreativas. La presencia de guías turísticos locales, debidamente capacitados, es un factor importante para enriquecer la experiencia del turista.

A continuación, en la Figura 3 se muestra la distribución geoespacial, en la que se observan los elementos simbólicos y dibujos que representan las actividades turísticas. Cabe mencionar que, para poner en marcha un proyecto turístico de esta magnitud, vale la pena señalar las actividades con mayor viabilidad a corto plazo; es decir, que no implican una demanda de capital de inversión para poderlas implementar (Ramón *et al.*, 2025).

En el caso de estudio del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección son nueve: Talleres gastronómicos; Senderismo en el apiario; Camping; Talleres de educación Ambiental; Safari fotográfico; Recorrido en cayuco; Avistamiento de aves; Observación de flora y fauna; y Pesca Recreativa.

Figura 3. Mapa de la distribución geoespacial de las Actividades Turísticas



Fuente: elaboración propia (2025).

Un aspecto importante para incentivar la actividad turística en las ANP dirigida a turistas potenciales, es la promoción de la publicidad a través en medios de comunicación e internet (Castillo y Castaño, 2015) como Facebook, Instagram, WhatsApp, y Tiktok. Además, es importante considerar el contenido de la publicidad, así como las promociones. En este sentido, las agencias de viajes y tour operadores juegan un papel fundamental como canales de distribución.

El presente estudio desarrolla la fase inicial de identificación y análisis de los recursos naturales y culturales con potencial turístico en el Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección. A partir de las UP identificadas, se prevé la continuación de la investigación para la caracterización y consolidación de las actividades turísticas.

Para ello, se aplicará la metodología de jerarquización de atractivos (Varisco *et al.*, 2014; Cohen y Benzeni, 2016), lo que permite determinar su potencial y, consecuentemente, optimizar la toma de decisiones en materia de inversión, promoción y gestión.

Conclusiones

En la comunidad del Ejido Aquiles Serdán 1ª y 2ª Sección del Área Natural Protegida de la Laguna de Mecoacán, se identificaron cuatro unidades de paisaje: Agricultura (UP1), Manglar (UP2), Espadañal (UP3) y Laguna (UP4). De acuerdo a la valoración de las UP, el territorio se considera idóneo para el desarrollo de las actividades turísticas principalmente de ecoturismo y turismo de aventura.

El mapa comunitario y las unidades de paisaje, fueron parte esencial para la identificación de los recursos naturales y culturales con potencial turístico. Se obtuvo un total de 13 actividades turísticas, las cuales son: observación de flora y fauna, senderismo, kayak o paseos en cayuco, paseo en lancha, safari fotográfico, caminata en puente colgante, avistamiento de aves, pesca recreativa, talleres gastronómicos, talleres de educación ambiental, camping y tirolesa.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados (CP), Campus-Tabasco por proporcionar los recursos necesarios y crear un entorno de investigación estimulante y enriquecedor para la elaboración de este trabajo.

Bibliografía

Acosta Cervantes, J., y García Vera, E. (2016). Análisis epistemológico de la investigación turística. *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 2(12), 43–52. <https://cienti->

- ciaytecnologia.uteg.edu.ec/revista/index.php/cienciaytecnologia/article/view/67
- Albuja, R. (2020). Fundamentos de planificación estratégica. *Revista Económica CUC*, 36: 81-94.
- Barrasa García, S. (2013). Valoración de la calidad estética de los paisajes de La Habana (Cuba) con métodos de participación social. *Estudios Geográficos*, 74(274), 45–66. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201302>
- Barrasa, R. [et al.] (2018). *La planificación y gestión del territorio turístico: enfoques integrales para la puesta en valor del patrimonio*.
- Barrasa García, S., López Contreras, C., Rodríguez-Terrones, S., Collantes-Chávez-Costa, A. L., y Franch-Pardo, I. (2023). Aportaciones metodológicas de González Bernáldez para los estudios del paisaje en México: El test de pares de fotos. *Ecosistemas*, 32(1), 1-14. <https://doi.org/10.7818/ECOS.249>
- Barros, M., Salinas, E., García, P., y García, L. (2021). Cartografía de paisajes y potencial turístico. *Formação*, 28(53), 697–717. <https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8190>
- Bassan, C. E. (2022). Turismo científico: conceptualización, modalidades y desafíos. *Realidad, Tendencias y Desafíos en Turismo*, 20(2), 33–48. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/condet/article/view/4507>
- Bautista, F. (2017). *Suelos, ambiente y algo más*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Bollo, M., Martínez, A., y Martín, G. (2023). Los paisajes antropogénicos del municipio Morelia, México. *Cuadernos de Geografía*, 32(1), 50–69. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v32n1.92063>
- Buitrago Bermúdez, O., Rojas, A. y Aguirre, M. (2022). Valoración del paisaje para el ecoturismo. *Fronteira*, 11(1), 206–225. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2022v11i1.p206-225>
- Buzón, M., Romero, A., Bonillo, M., Álvarez, R. y Agugliaro, F. (2023). *Introducción a los sistemas de información geográfica con QGIS*. Universidad de Almería.
- Cartuche, D., Romero, J. y Romero, Y. (2018). Evaluación multicriterio de los recursos turísticos. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 14(2), 102–113. <https://doi.org/10.4067/S0718-235X2018000200102>
- Castillo-Palacio, M. y Castaño-Molina, V. (2015). La promoción turística. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 24(3), 737–757.
- Caviedes-Rubio, D. y Olaya-Amaya, A. (2018). Ecoturismo en áreas protegidas. *Luna Azul*, 46, 311–330. <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.16>
- Chung, M. G., Dietz, T. y Liu, J. (2018). Global relationships between biodiversity and tourism. *Ecosystem Services*, 34, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.09.004>
- Cohen, C. y Benseny, G. (2016). Turismo y territorio. En D. Lan (Ed.), *Geografías en*

diálogo (pp. 35–41).

CONANP. (2018). *Marco estratégico de turismo sustentable en Áreas Naturales Protegidas de México*. <https://www.conanp.gob.mx/acciones/adv/MarcoEstrategico.pdf>

CONANP. (2019). *Turismo y naturaleza en áreas naturales protegidas*. <https://www.gob.mx/conanp/prensa/turismo-y-naturaleza-en-areas-naturales-protegidas>

CONANP. (2024). *Áreas Naturales Protegidas decretadas*. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm

Delgado Martínez, A. M., y Pantoja Timarán, F. (2016). Valoración del paisaje en una propuesta de turismo sostenible: La “Ruta del Oro”, Nariño (Colombia). *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 25(1), 233–253. Universidad Nacional de Colombia.

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>

Domínguez, J. C., Sánchez, A. J., Florido, R., y Barba, E. (2003). Distribución de macrocrustáceos en Laguna Mecoacán: al sur del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 13(2), 127–135. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972003000200005&lng=es&esytng=es.

Fajardo, D., Ávila, A. y Molina, D. (2011). El turismo en las Áreas Naturales Protegidas: beneficios, retos y perspectivas. *Revista de Turismo y Desarrollo Local*, 4(10), 1–15.

Folch, R., y Bru, J. (2017). *Ambiente, territorio y paisaje: Valores y valoraciones* (1.ª ed.). Editorial Barcino. <https://www.editorialbarcino.cat/es/producto/ambiente-territorio-y-paisaje>

Galavíz-Solis, A. (1986). *Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las Lagunas Dos Bocas y Mecoacán*, Tabasco, México. UNAM. <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1987-2/articulo268.html>

García Granados, F. (2020). La autonomía municipal y la conservación de la biodiversidad en México. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 53(159), 1027–1052. <https://doi.org/10.22201/ijj.24484873e.2020.159.15798>

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372>

George-Zamora, A., y Aldana-Aranda, D. (2000). Producción somática de dos especies de *Crassostrea virginica* e *Ischadium recurvum* (Bivalvia) en Mecoacán, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 65–75.

Geraldi, A. M. (2009). *Estudio geoambiental de la cuenca lagunar Las Encadenadas del Oeste* (Tesis doctoral, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur). Repositorio Digital Universidad Nacional del Sur. <http://repositorio->

- digital.uns.edu.ar/handle/123456789/2233
- Geraldi, A. M., Piccolo, M. C., y Perillo, G. M. E. (2011). Lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano. *Ciencia Hoy*, 21(123), 9–14.
- Gobierno del Estado de Tabasco. (2023). Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas. *Portal del Gobierno del Estado de Tabasco*. <https://tabasco.gob.mx/anp-listado-de-anp>
- Gómez Pech, E. H., Barrasa García, S., y García de Fuentes, A. (2018). Paisaje litoral de la Laguna de Bacalar (Quintana Roo, México): ocupación del suelo y producción del imaginario por el turismo. *Investigaciones Geográficas* (95). <https://doi.org/10.14350/rig.59594>
- Gómez Zotano, J., y Riesco Chueca, P. (2010). *Marco conceptual y metodológico para los paisajes españoles: Aplicación a tres escalas*. Centro de Estudios Paisaje y Territorio, Consejería de Obras Públicas y Vivienda, Junta de Andalucía. <https://doaj.org/article/b6d8c74b9553406b8a8061859c55586f>
- Guerra-Martínez, V., y Ochoa-Gaona, S. (2008). Evaluación del programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 24(2), 135–146. <https://doi.org/10.15446/uciencia.v24n2.15424206>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2012). *Aspectos generales del territorio mexicano*. Recursos Naturales. Edafología. <http://mapserver.inegi.org.mx>.
- Libert-Amico, A. (2019). Belleza escénica y conflicto territorial: la manufactura de la naturaleza en las Cascadas de Agua Azul, Chiapas. *EntreDiversidades*, 6(12), 9-42. <https://doi.org/10.31644/ED.12.2019.a01>
- López-Montes de Oca, E. D., Reyes-de la Cruz, C., y Mandujano-Contreras, J. C. (2018). *El Desarrollo del Turismo en Tabasco a partir de las potencialidades naturales y culturales de sus territorios*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2, 451-465. <https://ru.iiec.unam.mx/4275/>
- Martínez González, J. A. (2013). *El turismo como ciencia. Ponencia presentada en el Sexto Congreso Internacional sobre Historia y Ciencias Sociales*, Universidad de Málaga, España. https://www.researchgate.net/publication/275042966_El_turismo_como_ciencia
- Martínez Rodríguez, A. A., Juárez López, J. F., Ortiz Salaz, L., y Galmiche Tejeda, Ángel. (2021). El paisaje como recurso turístico en Áreas Naturales Protegidas: Caso Ranchería Chilapa 2da.Sección (Cañaveralito), Centla, Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1). <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2680>
- Mazzoni, E. (2014). Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. *Estudios Socioterritoriales*, 16(1).
- Monroy-Torres, M., Flores-Verdugo, F., y Flores-de-Santiago, F. (2014). Crecimiento de tres especies de mangle subtropical en respuesta a la variabilidad en el hidroperíodo en un tanque experimental. *Ciencias Marinas*, 40(4), 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.cim.2014.08.001>

org/10.7773/cm.v40i4.2455

- Moreno-Barajas, R., Talavera-Garduño, K., Rivera-Morales, S., y Hernández-Ramírez, N. (2019). Evaluación de la situación actual de las Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 21(2), 113–129. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Moreno-Casasola, P., y Infante Mata, D. M. (2010). *Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales*
- Narváez Castro, M., Fernández De Hurtado, G., y Gutiérrez, C. (2018). Participación de las Comunidades Organizadas en el Desarrollo Turístico Local (Paraguay – Venezuela). *Revista Venezolana de Gerencia*, 23(81), 106-120. <https://doi.org/10.37960/revista.v23i81.23471>
- Neto, D. B., y Suzuki, J. C. (2023). Cartografía social participativa como metodología de investigación territorial: un estudio de caso en el Pacífico afrocolombiano. *Perspectiva Geográfica*, 28(1), 5–25. <https://doi.org/10.15332/s0123-37692023000100005>
- O'Connor, L. M. J., Pollock, L. J., Renaud, J., Verhagen, W., Verburg, P. H., Lavorel, S., Maiorano, L., y Thuiller, W. (2021). Balancing conservation priorities for nature and for people in Europe. *Science*, 372(6540), 856–860. <https://doi.org/10.1126/science.abh1476>
- Ochoa-Gaona, S., Ramos-Ventura, L. J., Moreno-Sandoval, F., Jiménez-Pérez, N. D. C., Haas-Ek, M. A., y Muñoz-Delgado, L. E. (2018). Diversidad de flora acuática y ribereña en la cuenca del río Usumacinta, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, S3–S44. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2395>
- Pérez, J. I. (2013). Manejo de recursos naturales y procesos agrícolas para el turismo rural campesino en un Ejido de transición ecológica de México (Primera parte). PASOS. *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 11(2), 327–342. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2013.11.021>
- Pilatasig Tipanluisa, D. S., y Carrera Molina, D. S. (Asesora). (2024, febrero). *Mapeo de las unidades productivas de seis cultivos en las comunidades de Cotopaxi, mediante un sistema de información geográfica* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/12166>
- Quesada, R. (2010). *Elementos de turismo: teoría, clasificación y actividad*. Editorial Universidad estatal a distancia.
- Ramón Puebla, A. M., Bollo Manent, M., y Salinas Chávez, E. (2025). Evaluación del potencial de los paisajes para el desarrollo del turismo alternativo en la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, Michoacán, México. *Investigaciones Turísticas*, (30), 26–52. <https://doi.org/10.14198/INTURI.26925>
- Riemann, H., Santes-Álvarez, R.V., y Pombo, A. (2011). El papel de las áreas naturales protegidas en el desarrollo local. El caso de la península de Baja California. *Gestión y Política Pública*, 20 (1), 141-172. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=13321098004>

- Romaní, L. E., y Vázquez, L. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible y acción social: Una experiencia de incorporación de ODS en la planificación estratégica de una entidad sin ánimo de lucro. *Itinerarios de Trabajo Social*, (3), 7–13. <https://doi.org/10.1344/its.i3.40282>
- Romo Román, P. C. (2019). *Gestión del turismo en Áreas Naturales Protegidas*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/9d1225fc-1361-42c1-905b-178d3716fa7d>
- Salinas Chávez, E., Mirandola García, P. H., De Souza Barros, M. H., y Da Rosa Garcia Netto, L. (2019). El estudio de los paisajes como fundamento para la evaluación del potencial turístico del municipio Paranaíba, MS, Brasil. *Gran Tour: Revista de Investigaciones Turísticas*, (19), 79-102. <https://doi.org/10.6018/gran-tour.19.356621>
- Salinas, E., y Remond, R. (2015). El enfoque integrador del paisaje en los estudios territoriales: Experiencias prácticas. En C. Garrocho y G. Buzai (Eds.), *Geografía aplicada en Iberoamérica: Avances, retos y perspectivas* (pp. 503-543). México.
- Santos-Pavón, E., Fernández-Tabales, A., y Muñoz-Yules, O. (2016). La incorporación del paisaje a la planificación turística. Análisis de la estrategia de turismo sostenible de Andalucía. *Cuadernos de Turismo*, (37), 175-202. <https://doi.org/10.6018/turismo.37.256201>
- Secretaría de Turismo. (2004). *Turismo Alternativo: Una Nueva Forma de Hacer Turismo*. <https://www.entornoturistico.com/wp-content/uploads/2017/05/Turismo-Alternativo-una-nueva-forma-de-hacer-turismo.pdf>
- SEMARNAT. (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.
- Sorani, V., y Alquicira Arteaga, M. L. (Eds.). (2015). *Perspectivas del ordenamiento territorial ecológico en América y Europa*. Arlequín Editorial y Servicios. ISBN: 978-607-8338-34-4
- Spalding, M., Blasco, F., y Field, C. D. (Eds.). (1997). *World mangrove atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems*.
- Tesfaw, A. T., Pfaff, A., Golden Kroner, R. E., Qin, S., Medeiros, R., y Mascia, M. B. (2018). Land-use and land-cover change shape the sustainability and impacts of protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(9), 2084–2089. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716462115>
- Tlapa Almonte, M., Bustamante González, Á., Vargas López, S., Ramírez Valverde, B., Cervantes Gutiérrez, V., y Cruz Bello, G. (2020). Factores del deterioro de las áreas naturales protegidas periurbanas del Valle de Puebla, México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 35(1), 51–82. <https://doi.org/10.24201/edu.v35i1.1828>
- Torres, B., Fischer, R., Vargas J.C. y Günter S. (Eds) 2020. *Deforestación en paisajes forestales tropicales del Ecuador: bases científicas para perspectivas políti-*

- cas. Universidad Estatal Amazónica - Instituto Johann Heinrich von Thünen. Puyo, Ecuador. Serie de publicaciones misceláneas del INABIO - Nro. 15. 172 pp.
- Varisco, C., Castellucci, D., González, M. C., Muñoz, M. J., Padilla, N., Campoliete, L., y Benseny, G. (2014). El relevamiento turístico: de CICATUR a la planificación participativa. *Anais Brasileiros de Estudos Turísticos*, 4(3), 45–54.
- Williams, B. A., Watson, J. E. M., Beyer, H. L., Klein, C. J., Montgomery, J., Runting, R. K., Roberson, L. A., Halpern, B. S., Grantham, H. S., Kuempel, C. D., Frazier, M., Venter, O., y Wenger, A. (2022). Global rarity of intact coastal regions. *Conservation Biology*, 36(1), e13874. <https://doi.org/10.1111/cobi.13874>
- Zeng, Y., Maxwell, S., Runting, R. K., Venter, O., Watson, J. E. M., y Carrasco, L. R. (2020). Environmental destruction not avoided with the sustainable development goals. *Nature Sustainability*, 3(10), 795–798. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0555-0>
- Zuccarini, L., y Geraldi, A. M. (2019). El paisaje como recurso turístico: Valoración escénica de paisajes lacustres de la Pampa Argentina. *Investigaciones Turísticas*, (18), 220–241. <https://doi.org/10.14198/INTURI2019.18.10>

Capítulo 6. Análisis espacio – temporal de los cambios de uso de suelo en la ciudad de Acapulco 1985- 2020

EDDER AGUSTÍN BARRERA CASTILLO ¹

SALVADOR VILLERÍAS SALINAS ²

ILIANA VILLERÍAS ALARCÓN ³

AGUSTÍN CARLOS SALGADO GALARZA ⁴

Introducción

El empleo del método de análisis de imágenes satelitales para la detección de los cambios de uso de suelo ha constituido en los años más recientes una herramienta sumamente útil para la realización de estudios que abordan las dinámicas urbanas y sus transformaciones que provocan la superficie terrestre. Por otro lado, la expansión urbana se ha convertido en uno de los principales factores que posibilitan y anticipan, el cambio en estas coberturas y uso de suelo en las décadas más recientes; no obstante la extensión global de estas ciudades alcanza el 2% total de la superficie de la Tierra, sin embargo, han causado severas consecuencias en los ecosistemas mundiales (Plata, Gómez y Bosque, 2009).

El empleo de los Sistemas de Información Geográfica considera en la actualidad como una herramienta fundamental para la ciencia geográfica, específicamente dentro de la geografía urbana y la cuantitativa, campos que

-
- 1 Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales Acapulco. Universidad Autónoma de Guerrero, México.
 - 2 Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales Acapulco. Universidad Autónoma de Guerrero, México.
 - 3 Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
 - 4 Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Autónoma de Guerrero. México.

apoyan los estudios y análisis de la morfología urbana y cambios de usos de suelo (Barrera y Villerías, 2025).

La ciudad y puerto de Acapulco se localiza en el sur del Estado de Guerrero, México. Es un importante punto de referencia turística en el país, debido a que se considera el primer puerto destinado a esta vocación en el territorio mexicano.

Esta vocación turística derivó en un acelerado crecimiento de la ciudad e importante explosión demográfica en la segunda mitad del siglo XX. En este sentido, el objetivo del presente estudio es analizar mediante el empleo de la teledetección de imágenes, los cambios en la cobertura y usos de suelo que se han presentado en el territorio acapulqueño derivados de la necesidad de crear infraestructura turística, así como el crecimiento poblacional por esta actividad económica. Se espera que se pueda contribuir con tomadores de decisiones para la planificación territorial en la búsqueda de crear una ciudad más resiliente y sostenible.

Antecedentes

El crecimiento de las ciudades alrededor del planeta es uno de los principales elementos impulsores de los cambios en los usos del suelo en el territorio, a pesar de la extensión de éstas sólo ocupa el 2% total de la superficie terrestre; ocasionando alteraciones, aunado a graves repercusiones en los ecosistemas en diversas escalas (Juan, 2021). Briassoulis (1999) analizó los cambios de usos de suelo desde el aspecto teórico así como el modelado integrando diversos enfoques de las ciencias naturales y sociales; partiendo desde la base que el uso de la tierra se produce como el resultado de la interacción entre las necesidades de los seres humanos y las diferentes características biofísicas del territorio, generando cambios como resultado de las actividades antropogénicas. Por ello, se producen diferentes impactos de diversas tipologías como ambientales y socioeconómicos a diversas escalas.

Así también, se han realizado diversas clasificaciones de los objetivos de estos cambios de uso del suelo en categorías como: descriptivos, explicativos, predictivos, evaluativos de los impactos, prescriptivos y evaluativos. Plata, Gómez y Bosque (2009), analizaron la ocupación y su variación en la región de Madrid a lo largo del período 1990 – 2000. Utilizaron datos de bases europeas como CORINE Land Cover, mostrando un crecimiento en extremo notorio en la extensión de las zonas urbanas cercanas a la capital española.

La metodología en la matriz de cambios permite detectar los cambios y variaciones de las coberturas de suelos (Pontius *et al.*, 2004). Otros estudios (Mayaux *et al.*, 2008; Gutman *et al.*, 2004; Lambin y Geist, 2006), destacan la importancia del uso de imágenes satelitales en las detecciones de estos cambios de uso del suelo, proporcionando datos importantes sobre el uso de esta tecnología.

Consideraciones teórico – conceptuales.

Análisis espacio – temporal en la dinámica de ocupación del suelo.

Como ciencia general, la geografía se dedica al análisis de los aspectos naturales, desentrañando leyes que coadyuven en el correcto aprovechamiento de las riquezas naturales con base en la ciencia y el adelanto social; debatiendo problemas y procesos comunes a grandes masas de población mundial que justifique en gran manera el estudio de esta ciencia (Bassols, 1980). La forma en que el pensamiento geográfico ha ido evolucionando a lo largo del Siglo XX, deja como resultado tres principales tesis de la geografía producidas (perspectivas ecológica, corológica y sistémica).

Desde el campo ecológico, se considera el análisis de la relación del hombre y el entorno que lo rodea, por otro la perspectiva corológica que lo define como el estudio de la diferenciación areal; mientras que la perspectiva sistémica sostiene que es el estudio de las regularidades para genera códigos y modelos que subyacen a las muestras de repartición del espacio. En la actualidad y derivado de las tendencias en el desarrollo de la investigación aplicada, estas se consideran de forma integral con el propósito de tener un espectro de alcance aún mayor; se abordan desde la relación de las sociedades con el entorno (natural o antrópico) lo que da como resultado, diferenciaciones espaciales que son modelizadas. Siendo este modelo una abstracción esquemática del mundo, resaltando sus elementos esenciales (Buzai y Montes Galbán, 2021).

Por otro lado, el espacio geográfico representa de forma material a la superficie terrestre. De esta forma, todo estudio geográfico se asienta sobre esta superficie, por lo que se considerara una ciencia de la cobertura terrestre, así como de fenómenos que se relacionan de forma causal con ella. El estudio de las dinámicas urbanas presenta un gran auge e interés por parte de investigadores e instituciones educativas a nivel mundial durante las últimas décadas. Estos estudios se enfocan en abordar y valorar el desarrollo sostenible en los territorios, utilizando modelos complejos (Gallardo, 2018).

Cuando se habla de estudiar la dinámica espacial incorporando además el factor tiempo, se puede constituir una aproximación de suma importancia en la investigación de tipo científico. No obstante, la geografía es una ciencia del presente, no podemos dejar de considerar y reconocer lo importante que es en la dimensión temporal para ya que muestra un alcance considerable en los estudios realizados, dado que ir hacia el tiempo anterior, muestra el origen de las manifestaciones empíricas suscitadas en ese presente (Buzai, 2010).

No obstante, cuando el análisis se realiza y se centra en el lugar, corresponde una visión basada en la localización; mientras que si se enfoca en el cuándo se habla de tiempo. Es así, que desde la perspectiva espacial, se presenta

un camino evolutivo espacio – temporal; por ello, el concepto de evolución espacial se sustenta en la consideración de la dimensión temporal como una pretensión conceptual – metodológica que colabora al descubrimiento de los cambios presentados en las configuraciones espaciales de los territorios (Humacata, 2020).

Teoría de los usos de suelo.

La visión antropocéntrica actual por parte del género humano ha arrojado como resultado una gran necesidad de recursos naturales, al mismo tiempo causa un deterioro en estos ecosistemas, derivado del manejo simple, previsible y en su mayoría (consistente en la deforestación) por ejemplo, el cambio en el uso del suelo, que habilita diferentes utilidades como la agricultura; la cual solo se puede realizar en cortos períodos de tiempo en dicha superficie, para posteriormente ser convertidos en pastizales de rebaños, ganado, siendo finalmente abandonadas. Sumado a estas actividades antrópicas como la pesca o la caza indiscriminadas, amenazan porciones grandes de ecosistemas, en especial en Latinoamérica, alterando los microclimas locales y arrasando con la fauna silvestre de forma definitiva (Juan, J., 2021).

La Revolución Industrial provocó grandes cambios en diversos ámbitos del desarrollo del género humano y, con ello, aceleró el proceso de los cambios del uso del suelo de forma realmente importante (Juan, J., 2021). En este sentido, se han convertido en una gran amenaza para las décadas venideras, invitando a recapacitar acerca de la dimensión de injerencia este problema; afectando la pérdida de biodiversidad, disminución de los servicios ambientales, la descomposición de los hábitats silvestres, entre otros más.

Además, se ha mencionado el cambio de uso del suelo como una respuesta a la demanda de alimentación, vivienda y espacios territoriales en búsqueda de satisfacer las necesidades de supervivencia de los seres humanos, por ejemplo: el aumento de las superficies agrícolas y espacios para vivienda, argumentando que la deforestación es el camino más sencillo para satisfacer esta demanda (Sala, 2008).

Como resultado de esto, la generación de catástrofes ambientales en el planeta y los mecanismos generadores actualmente se manifiestan mediante el aumento de las crisis ambientales a niveles local y regional. Uno de estos procesos es el cambio de uso del suelo (García, 2015). En los diversos campos y ámbitos del estudio de éstos frecuentemente se encuentra términos “uso del suelo” y “cobertura del suelo” utilizados indistintamente como parte de las investigaciones relacionadas a estos procesos de cambio la transformación del paisaje e impactos que resultan de estos.

A nivel global existen diversas y variadas definiciones de estos conceptos, lo más importante, es recordar que ambos hacen referencia a la superficie terrestre donde se lleva a cabo, la vida vegetal, animal y las interacciones de

la sociedad humana. No obstante, mientras el término “cobertura del suelo se relaciona con la cobertura física y biológica observada en la tierra, así como a la vegetación o las características antrópicas, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) ha señalado lo siguiente el suelo se define en función o propósito del uso que la población local haga con él. Por lo que se relaciona con las actividades antrópicas que intervienen en el suelo de forma directa al utilizar sus recursos al interferir en ellos (Briassoulis, 2019). También se enfatiza que la cobertura del suelo es en realidad, el estado biofísico de la superficie terrestre, así como del subsuelo contiguo (Turner, Clark, Kates, Richards, Mathews y Meyer, 1990).

Se puede asumir que la cobertura del suelo comprende el tipo y cantidad de vegetación superficial, el agua y materiales terrestres, así como elementos de diversos tipos que se le agregan; tales como las estructuras humanas, edificios o pavimento, además de considerar el entorno físico como la biodiversidad y las aguas subterráneas (Turner y Meyer, 1994; Mosser, 1996).

En esta época de desarrollo tecnológico existe una diversa y enorme cantidad de teorías como enfoques para estudiar los procesos que conllevan los cambios de uso del suelo. No obstante, existe una literatura diversa especializada, tanto la clásica como contemporánea que utilizan elementos teóricos que doten al investigador de métodos, técnicas y herramientas para la clasificación, medición y representación espacial. Así, estos estudios adquieren el carácter de científicos. En México, de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT), el uso de suelo se refiere a la forma en que la superficie terrestre y su cubierta vegetal son empleados por las personas (SEMARNAT, 2010).

Por otra parte, el término “cambio de uso de suelo” hace referencia al proceso de transformación de la cubierta vegetal en una zona determinada para llevarlos a otros usos. Dicho proceso puede causar la degradación de la calidad en la vegetación de la zona; alterando la densidad y composición de la flora. Algunos de los factores más distinguidos y analizados asociados en este proceso es el cambio del uso del suelo por las actividades agrícolas y ganaderas, así como la apertura de espacios para las actividades humanas como habitar o desarrollar comercios e industria (Juan, J. I. 2021).

En este sentido, el estudio de estos cambios no son improvisados o recientes abordaje, sino desarrollados como resultado de los procesos de las alteraciones territoriales a nivel planetario.

Teledetección en el análisis de los cambios de uso de suelo

El termino teledetección espacial se refiere a la obtención de información sobre la superficie de la Tierra desde las plataformas espaciales (Chuvienco, 2007; Adams y Gillespie, 2006). De esta manera, el uso de esta metodología en el análisis de la cubierta vegetal y sus cambios de uso de suelo se han transfor-

mado en una herramienta necesaria para identificar mediante sensores remotos, la reflectancia de la energía electromagnética que los objetos emiten.

El proceso se describe de la siguiente manera: a través de sensores remotos instalados en satélites que toman registro de las radiaciones electromagnéticas, cuyo origen es la superficie terrestre, radiaciones suficientemente intensas para superar la atmósfera de la Tierra constituyen una capa filtrante de éstas. Las de onda corta (0,4-3µm) se convierten en las más prácticas para el estudio de la cubierta vegetal porque corresponden a la energía solar que refleja la vegetación y el suelo; captada por los satélites, convirtiéndose estas imágenes satelitales en una fuente de información abundante y de bajo costo, con relación en las características de los recursos naturales (Álvarez González *et al.*, 1995). Debido a esto, la teledetección se ha constituido en una herramienta precisa para la planeación, gestión y manejo de los recursos naturales renovables (Chuvieco, 2008). Sumado a esto, el uso de los Sistemas de Información Geográfica, permite la digitalización las imágenes descargadas de satélites como el Landsat.

Conocer la configuración espacial de las coberturas, usos del suelo y su dinámica de cambios es primordial al momento de contar con diagnósticos de la evolución espacial en la ocupación del suelo. En este sentido, la descripción y análisis de los principales cambios del suelo aportan importantes herramientas que se direccionan en la cuantificación de la magnitud y distribución en el espacio de los cambios presentados (Humacata, 2020).

Metodología

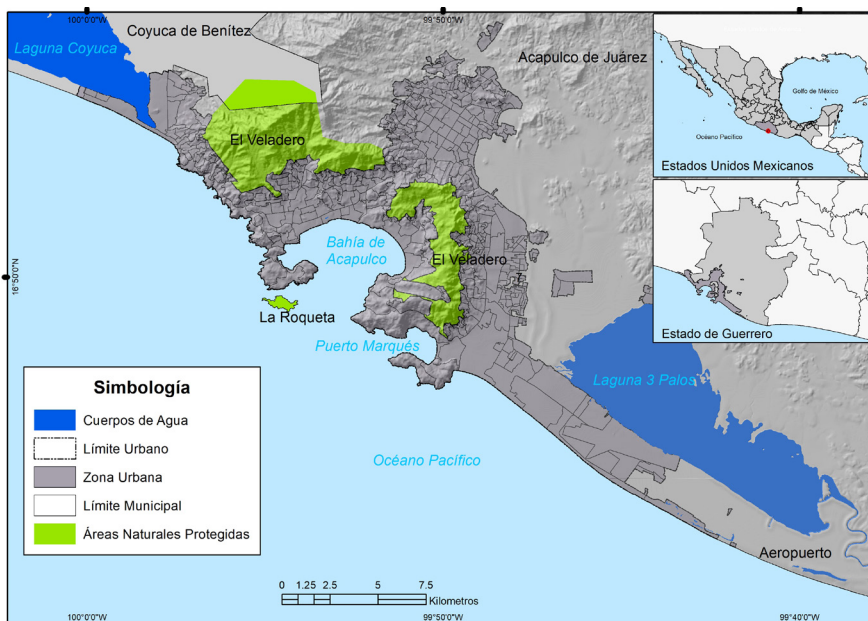
Caracterización de la zona de estudio

El estado de Guerrero se localiza al sur de México, conformado por 81 municipios y 8 regiones geoeconómicas. El municipio de Acapulco de Juárez, debido a su extensión e importancia en la economía de la entidad, es considerado como un municipio y región, cuya cabecera municipal es la ciudad y puerto de Acapulco (Figura 1), conocido internacionalmente por sus playas de arenas doradas y mar de temperaturas cálidas.

Este importante puerto turístico mexicano cuenta con una extensión territorial de 205.03 km². Su litoral costero se extiende a lo largo de casi 50km de largo, además posee las siguientes características limítrofes: al norte con el poblado de Km 21, al este con el Río Papagayo y la comunidad de Tres Palos, así como a la laguna del mismo nombre (poblado de Lomas de Chapultepec) al oeste limita con las localidades de Cerrito de Oro y Luces en el mar, además de la Laguna de Coyuca que pertenecen al municipio de Coyuca de Benítez. Finalmente, al sur tiene como límite natural el Océano Pacífico.

De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población municipal es de 658,609 habitantes en las 539 Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) divididas en zona urbana, con una densidad poblacional de 7,923 habitantes/km². De esta, solo el 47.6% se determinó como población económicamente activa (21.7%) la cual se encuentra dentro de empleos formales; el resto desarrolla labores en la informalidad, siendo la oferta de servicios turísticos y el comercio las principales fuentes de derrama económica, así como la agricultura y pesca que presentan con una menor remuneración (INEGI, 2020).

Figura 1. Acapulco: zona de estudio



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

Por otro lado, la zona turística de la ciudad posee 25 playas, mismas que se distribuyen a lo largo de las tres zonas turísticas que dividen la franja costera: Tradicional, Dorada y Diamante. Hay una zona de conservación denominada Parque Nacional El Veladero, y posee una dimensión de 3,617.41 ha; así también, existen otras áreas de conservación ambiental como la Isla de la Roqueta y el Parque Papagayo (CONANP, 2024).

Desarrollo del proceso metodológico.

La cartografía temática que se ha utilizado en el presente estudio a partir de criterios homogeneizados, lo que conduce a una mejor aptitud para la super-

posición de mapas. El proceso de elaboración de estos mapas ha sido explicado con anterioridad en Humacata *et al.* (2020), basados en la selección de imágenes satelitales, así como su preprocesamiento con aplicación de criterios de interpretación visual, clasificación digital y posprocesamiento de éstas mismas. El resultado obtenido fue la creación de bases cartográficas en el ámbito de los SIG, mismo que permiten lograr insumos que contribuyan a realizar mapas básicos y temáticos con la finalidad de realizar cartografía sintética (Humacata, 2022).

Para el desarrollo de la presente investigación se obtienen datos a partir de las series cartográficas del uso de suelo y vegetación de las que se utilizaron solo las Series II (INEGI, 1997) y VII (INEGI, 2021). Debido a la coincidencia con los años de corte temporal, 1985 (T1) y 2021 (T2), éstas fueron utilizadas como cartografía base para la elaboración de los mapas ráster.

Así también, se adquirieron imágenes satelitales de la zona de estudio proporcionadas por las misiones Landsat 4 (Sensor TM) (USGS, 1985) y 8 (Sensor TM) (USGS, 2021), así como del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Se descartaron imágenes anteriores al primer corte temporal (1985) por no reunir las características espectrales adecuadas, por tanto, se seleccionaron imágenes de diferentes años (1985 – 2021); con la finalidad de abarcar un amplio período de tiempo y contribuir en la cuantificación de los cambios en el uso del suelo.

La adquisición de estas imágenes corresponde a los meses de octubre a marzo, que son de menor nubosidad en la zona de estudio, con la finalidad de obtener un mejor rango dinámico de la respuesta espectral de las diversas coberturas, logrando así una mejor separabilidad espectral de las imágenes utilizadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Información de las imágenes satelitales utilizadas
(Landsat 4 y 8)

Escena (Path, Row)	Fecha de adquisición	Fuente de la imagen	Corte Temporal
026, 048	31 – 01 - 1985	USGS	T1
026, 048	18 – 01 - 2021	USGS	T2

Fuente: elaboración propia con datos de Servicio Geológico de los Estados Unidos (1985 -2021).

Una vez obtenidas las imágenes, se realizó una corrección atmosférica de las mismas en función al ATMOSC de Terrset (Humacata, 2020). Para proceder con la obtención de mapas tipo ráster, sirvieron como base los cortes temporales. Como siguiente paso, se realizó la clasificación supervisada de las categorías que determinaron el análisis:

1. Urbano
2. Vegetación Primaria
3. Vegetación Secundaria
4. Cuerpos de Agua
5. Desprovisto de Vegetación

La clasificación anterior según Humacata *et al.* (2020), es realizada mediante la función MaxLike de Terrset. Finalmente, para la obtención de pérdidas, ganancias, persistencias y cambios netos, se utilizó el método de tabulación cruzada a través de la función CrossTab de Terrset; los resultados son vaciados en una matriz de cambios que implementada por Pontius *et al.* (2004) se organiza en filas y columnas.

En las filas se vacían los datos de categorías de los mapas en su corte temporal 1 (T1), correspondiendo al primer período de 1985 y en las columnas, se presentan las categorías del segundo corte temporal (T2) correspondiente al 2021. Esta matriz de cambio se refiere a las pérdidas, ganancias y persistencias presentadas en la zona de estudio a raíz de la superposición cartográfica, consistente en “la definición de estilos a través de la observación y comparación” (Moreno, 2014). El método de superposición cartográfica ha constituido una herramienta sumamente eficaz en el análisis de los cambios de uso de suelo en un período determinado; su orientación es hacia el análisis de las evoluciones espaciales en los patrones de distribución (Barrera y Villerías, 2025; Humacata, 2011).

Para la interpretación de esta matriz, se puede referir que estos datos dentro de las diagonales representan las superficies que no han sido modificadas a lo largo del tiempo; mientras que las que están fuera de dichas diagonales, han presentado alguna transición o categoría durante el período analizado. Así se presentan los totales de ambas temporalidades, representando la suma de cada una de las categorías analizadas; se poseen los datos de pérdidas y ganancias, indicando el aumento o disminución de cada categoría, respectivamente entre ambos cortes temporales (Barrera y Villerías, 2025) (Cuadro 2). Los resultados se resumen en cuadros, gráficos y cartografía temática empleadas como insumos para el análisis de los cambios en el uso del suelo de la zona de estudio.

Resultados

El mapa de coberturas del suelo del corte temporal 1 (T1), elaborado con base en imagen satelital obtenida de la USGS y cartografía base de la serie cartográfica de uso del suelo y vegetación Serie I, correspondiente al año 1985; mostró que este momento es el componente “Urbano”, el cual se extendía principalmente en la zona del anfiteatro comprendiendo toda la zona montañosa que se presenta frente a la bahía de Acapulco; así mismo, se observó que al pre-

sentarse las primeras invasiones al área natural protegida de “El Veladero”, la traza urbana creció hacia hacia la zona norte del municipio que corresponde con la salida a la Ciudad de México.

Cuadro 2. Matriz de cambios, ganancias, pérdidas y persistencias

Categorías	Categorías 1	Categorías 2	Categorías 3	Categorías n...	Total T1	Pérdidas
Categorías 1	P11	P12	P13	P1n...	P1+	P1+-P11
Categorías 2	P21	P22	P23	P2n...	P2+	P2+-P22
Categorías 3	P31	P32	P33	P3n...	P3+	P3+-P33
Categorías n...	Pn1	Pn2	Pn3	Pnn...	Pn+	Pn1+-Pnn
Total T2	P+1	P+2	P+3	P+n	P+n1	
Ganancias	P+1-P11	P+2-P22	P+3-P33	P+n-Pnn		

Fuente: elaboración propia con datos de Barrera y Villerías (2025), Humacata (2020) y Pontius *et al.*, (2004).

Por otro lado, la “Vegetación Primaria”, se ubicaba en las zonas aledañas al Área Natural Protegida (a partir de aquí ANP) “El Veladero”; paralelo a la bahía de Acapulco, mientras que su componente “Vegetación Secundaria”, tiene la mayor extensión en la zona estudiada. Por otra parte, el componente “Cuerpos de Agua” se dispersa en varias zonas del municipio y la laguna de Tres palos como la de mayor importancia. Así el río Papagayo corre de norte a sur en el territorio municipal (Figura 2).

Para el año 2021 (T2), se observó que la ciudad de Acapulco se extendió hacia el norte (salida a la Ciudad de México) y oriente. La conocida como Zona diamante y el oriente, donde se ubica el poblado de Pie de la cuesta con la carretera 200 que comunica al puerto con la región de la Costa Chica y con el destino de playa como el binomio Ixtapa – Zihuatanejo. Asimismo, el componente “Vegetación Primaria” presentó un importante cambio, localizándose prácticamente sobre la reserva de la ANP “El veladero”; contrario a lo anterior, el componente “Vegetación Secundaria” posee una notable presencia al norte, oeste y este del municipio (en la zona rural de la misma).

No obstante, el componente “Cuerpos de Agua” denota un importante decrecimiento en su presencia, conservándose la laguna de Tres palos y el río Papagayo como los de principal tamaño dentro del área de estudio; mientras que cuerpos menores han ido extinguiéndose. Por otro lado, la laguna de Tres palos es la fuente de empleo para los lugareños que habitan en los poblados circunvecinos como Tres palos y San Pedro las playas. En estas localidades se han presentado conflictos de forma recientes por la solicitud de cambios en el uso del suelo de la región, en aras de beneficiar los desarrollos inmobiliarios (Figura 3).

El mapa de cambios (Figura 4) muestra que el componente “Urbano” presentó cambios en las zonas norte, este y oeste del municipio durante el período analizado. La traza urbana pasó a desarrollarse en las Zona diamante y la comunidad de Pie de la cuesta, donde surgen desarrollos inmobiliarios de forma dispersa en la ciudad con grandes porciones de terreno y baja densidad poblacional. También aparecieron nuevos asentamientos urbanos en la salida a Ciudad de México, explicado la inauguración a principios de la década de 1990 de la Autopista del Sol, la cual mejoró la conectividad con la Ciudad de México.

Figura 2. Acapulco: corte temporal T1 (1985)



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (1997) y USGS (1985).

Por otro lado, la “Vegetación Secundaria” está cada vez más presente en zonas rurales y urbanas de la ciudad, derivado del avance de la urbanización, así como la talas e incendios forestales recurrentes; por su parte la “vegetación primaria” presenta grandes cambios y se localiza principalmente en el ANP “El veladero”. Finalmente, el componente “Cuerpos de Agua” presenta un gran número de ganancias, conservando la laguna de Tres Palos y el río Papagayo como los principales del municipio y ciudad de Acapulco; lo que significa empleo y agua potable a los ciudadanos de la región.

Los resultados mostrados en la matriz de cambios como la tabulación cruzada realizada, muestra cómo el componente “Urbano” posee todo el año correspondiente al T1, una extensión de 7,336.98 ha; asentándose en la zona del anfiteatro de la ciudad, frente a la bahía. Mientras que las zonas poniente y oriente no presentan un marcado desarrollo. Sin embargo, durante el período de 40 años que se analizó, este mismo componente tuvo un incremento de 12,544.20 ha, mientras que las pérdidas equivalieron a 3,341.25 ha con persistencias en 3,995.73 ha; presentando una extensión total en el T2 de 8,548.47 ha.

Figura 3. Acapulco: corte temporal T2 (2021)



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2021) y USGS (2021).

El componente “Vegetación Primaria” al inicio del período estudiado poseía una extensión total de 26178.12 ha, mientras que las persistencias que se registraron al final del período fueron de 18959.49 ha. Por otra parte, las pérdidas ascendieron a 7218.63 ha, así también las ganancias obtenidas por esta categoría fueron de 118342.71 ha en una extensión total de 99383.22 ha.

Para el año de 1985, el componente “Vegetación Secundaria” era mayor con un total de 93,069.27 ha, mientras que para el final del período la exten-

sión total fue de 37,691.37 ha; lo que significó una ganancia de 61,008.39 ha, por 69,752.25 ha de pérdida (cifra de persistencia de 23,317.02 ha) (Cuadro 3).

Figura 4. Acapulco: cambios en usos de suelo de la zona de estudio en el período analizado (1985 – 2021)



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (1997 - 2021) y USGS (1985 - 2021).

Al observar el gráfico siguiente, se puede reconocer la categoría “Vegetación Secundaria” con las mayores ganancias del período y un porcentaje menor de pérdidas; mientras que la “Vegetación Secundaria” presento un marcado equilibrio entre las ganancias y pérdidas en el período analizado. Por otro lado, el componente “Urbano” presenta gran incremento en su extensión durante el mismo lapso, mientras que las pérdidas son muy escasas conviene recordar que; una vez que la mano del ser humano deja huella mediante el proceso de urbanización, es imposible que regrese un uso diferente.

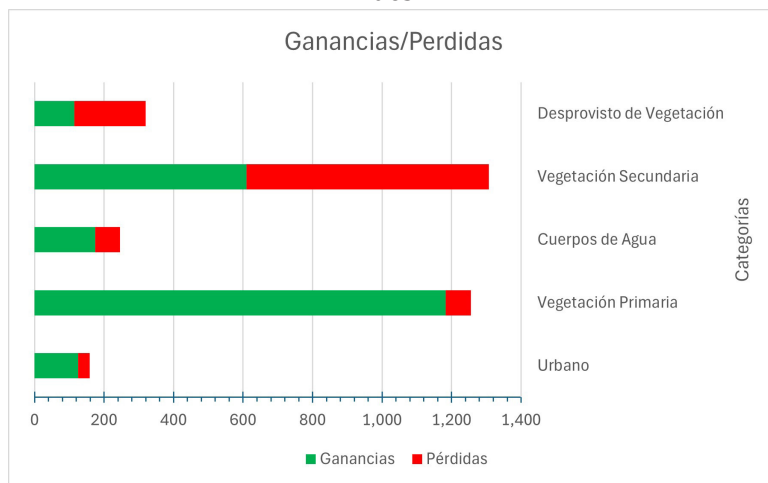
Finalmente, la categoría “Cuerpos de Agua” arrojó un importante incremento en su extensión: mientras que las pérdidas fueron pocas al contrario del componente “desprovisto de vegetación” que presenta grandes pérdidas con pocas ganancias (Figura 5).

Cuadro 3. Matriz de cambios, ganancias, pérdidas y persistencias del período

Categorías	Urbano	Vegetación Primaria	Cuerpos de Agua	Vegetación Secundaria	Desprovisto de Vegetación	Total T1	Pérdidas
Urbano	3995.73	1305.72	639.36	663.39	732.78	7336.98	3341.25
Vegetación Primaria	1724.31	18959.49	787.50	3237.03	1469.79	26178.12	7218.63
Cuerpos de Agua	350.73	5346.00	7452.36	1246.32	211.95	14607.36	7155.00
Vegetación Secundaria	1017.99	64289.52	751.05	23317.02	3693.69	93069.27	69752.25
Desprovisto de Vegetación	1459.71	9482.49	402.75	9227.61	2670.48	23243.04	20572.56
Total T2	8548.47	99383.22	10033.02	37691.37	8778.69		
Ganancias	12544.20	118342.71	17485.38	61008.39	11449.17		

Fuente: elaboración propia con base en Pontius *et al.* (2004) y datos de INEGI (1997 - 2021) y USGS (1985 - 2021).

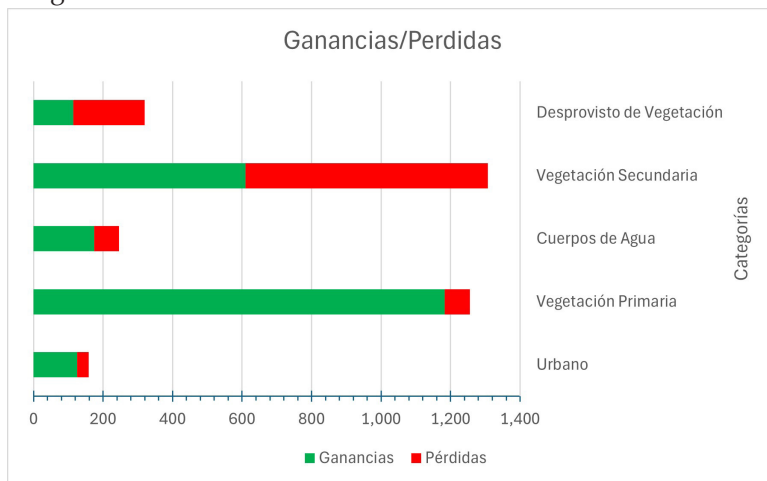
Figura 5. Ganancias y pérdidas de los diferentes usos del suelo analizados



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (1997 - 2021) y USGS (1985 - 2021).

Como resultado final, el gráfico de cambios netos muestra el componente “Vegetación Primaria” el cual presentó el mayor cambio neto positivo, seguido de las categorías “Cuerpos de Agua” y “Urbano; por otro lado, los componentes “Vegetación Secundaria” y “Desprovisto de Vegetación”, se encontraron con cambios negativos en sus extensiones durante el período analizado (Figura 6).

Figura 6. Cambio neto de los diferentes usos del suelo analizados



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (1997 - 2021) y USGS (1985 - 2021).

Conclusiones

Los cambios en la cobertura y uso del suelo han constituido uno de los principales factores del crecimiento y transformación de las ciudades, lo que significa que la perspectiva geográfica es importante en el análisis de las interacciones de las dinámicas espaciales con los diversos factores estructurales de la sociedad.

Por otro lado, el uso de la percepción remota y el análisis de estas imágenes satelitales a través de los SIG, coadyuvan el modelado de las condiciones pasadas en los territorios para proyectar escenarios futuros que puedan localizarse dentro del espectro de posibilidades a suceder; lo que permite una toma de decisiones más coherente, informada y sostenible que coadyuve en la planificación adecuada a nivel local como regional por lo que es ahora una herramienta de suma importancia en las investigaciones que busquen ordenar el territorio.

El método de tabulación cruzada demostró es el componente “urbano” de la zona de estudio el cual obtuvo grandes ganancias en su extensión, seguido de la “vegetación secundaria”, misma que ostentó importantes pérdidas de extensión. Finalmente, el componente “vegetación primaria” fue el que presentó mayores cambios netos durante el período analizado; caso contrario a la “vegetación secundaria”, la cual tuvo pérdidas de cobertura durante el período que va de 1985 al 2021.

De esta forma, se puede determinar que herramienta en la búsqueda de un mejor ordenamiento en el territorio de Acapulco, la cual es importante puerto

turístico mexicano, mismo que ha sufrido importantes desastres naturales en los últimos años como los provocados por el huracán “Otis” en octubre de 2023 y John en septiembre de 2024. En cuanto a zonas no aptas para la habitación como las cercanas a la laguna de Tres Palos, Acapulco es el principal puerto del estado de Guerrero con actividad turística que representa la fuente de empleo gran parte de la población local. Se recomienda ahondar en estudios similares que coadyuven en la mejora de la toma de decisiones para el ordenamiento territorial de la ciudad.

Discusión

El análisis realizado a través de la interpretación de imágenes satelitales se convierte cada vez más en la herramienta de estudio en las ciudades, pero también para determinar los patrones de ocupación espacial; especialmente si se incorpora el factor temporal, sin embargo, la falta de acceso a imágenes más antiguas dificulta la interpretación de estas, lo cual sesga en cierta manera, los resultados obtenidos en este análisis. Los Sistemas de Información Geográfica permiten el mejoramiento de las imágenes de que se disponen.

Es de llamar la atención que la ciudad de Acapulco ha presentado una importante expansión territorial que no corresponde con algunos de los preceptos teóricos analizados, ya que sus componentes “Vegetación Primaria” y “Vegetación Secundaria” presentaron misma proporción en ganancias y pérdidas en sus áreas de cobertura, lo que explica en la constante deforestación y utilización de estos usos agrícolas como el aparente abandono de sus áreas productivas; quizá debido a la constante migración poblacional que es causada por las crisis de seguridad que enfrenta este municipio mexicano.

Para determinar esto, se sugiere ahondar aún más con los estudios de este tipo en esta zona, misma que si presenta una considerable perdida en zonas de manglares; las cuales han sido ocupadas por nuevos desarrollos inmobiliarios.

Bibliografía

- Álvarez González, JG; Ruiz González, AD.; Riesco Muñoz, G. (1995). *Inventario Forestal por Fotografía Aérea y Teledetección*. Escuela Politécnica Superior de Lugo. 57 p.
- Barrera Castillo, E. A., y Villerías Alarcón, I. (2025). Análisis espacio – temporal de la transformación urbana de Acapulco 1930 - 2020. *Ciencias Espaciales*, 16(1), 25–46. <https://doi.org/10.5377/ce.v16i1.20509>.
- Bassols, Á. (1980). *Geografía económica de México. Teoría, fenómenos generales, análisis regional*. (4a ed.). México: Trillas.

- Briassoulis, H. (2019). *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*. USA. Regional Research Institute, West Virginia University. Scott Lovelidge and Randall Jackson. <https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book/3>.
- Buzai, G. D. (Ed.) (2010). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y metodológicos*. Universidad Nacional de Luján. Luján.
- Buzai, Gustavo D.; Montes Galbán, E. (2021). *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. 1a edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires Editorial.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona: Editorial Ariel Ciencia.
- Chuvieco, E. 2007. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona. Editorial Ariel Ciencia.
- CONANP (2024). *Decretos, Programas de Manejo CONANP, Estudios Previos Justificativos*. CONANP. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=74yreg=7>.
- Food and Agriculture Organization (FAO, 1995). Planning for Sustainable Use of Land Resources. *FAO Land and Water Bulletin* 2. Roma: FAO.
- Gallardo, M. (2018). Revisión y análisis de estudios de modelos de cambios de usos del suelo y de escenarios a futuro. *Geographicalia*, 70, 1-26. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2018703278.
- García, G. (2015). *Cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México: 1989–2012*. Tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática. Toluca, México: Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gutman, G.; Janetos, A.; Justice, C.; Moran, E.; Mustard, J.; Rindfuss, R.; Skole, D.; Turner, B.L. Y Cochrane, M. (Ed.) (2004). *Land Change Science. Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Humacata, L. (2011). Análisis espacio-temporal de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Luján (1990-2010). *Huellas*, 26(1):145–160.
- Humacata, Luis (2020). *Sistemas de Información Geográfica: aplicaciones para el análisis de clasificación espacial y cambios de usos del suelo*. 1a edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires Editorial.
- INEGI (1997). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250,000, Serie I*. INEGI. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250kcs1agw.html>.
- INEGI (2020). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2020*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- INEGI (2021). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250,000, Serie VII*. INEGI. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/>

usv250s7gw.html.

- J.B. Adams, A.R. Gillespie (2006). Remote Sensing of Landscapes with Spectral Images. Cambridge University Press, Cambridge, UK 0-521-66221-4 362pp., US\$85, Hardback. *Computers y Geosciences*. 34. 422-423. 10.1016/j.cageo.2007.08.001.
- Juan, J. Isabel (2021). *Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México: Fundamentos teóricos y metodológicos*. 1ª edición. Ciudad de México: Clave Editorial.
- Lambin, E.F. y Geist, H.J. (Ed.) (2006). Land Use and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts. Berlin: Springer.
- Mayaux, Ph; Eva, H.; Bink, A.; Acheral, F. y Belward, A. Remote Sensing of Land Cover and Land-Use Dynamics. In Chuvieco, E. (Ed.) (2008). Earth Observation of Global Change. The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment. ("Earth Observation of Global Change: The Role of Satellite Remote ...") New York: Springer, p. 85-108.
- Moser, S. (1996). A Partial Instructional Module on Global and Regional Land Use/Cover Change: Assessing the Data and Searching for General Relationships. *Geojournal*, 39 (3), 241-283.
- Moreno Martín, A. (2014). *Arqueología de la arquitectura en el Palacio de Justicia de Madrid*.
- Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M., Bosque Sendra, J. (2009). Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la comunidad de Madrid (1990-2000). Scripta Nova. *Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona.
- Pontius, R. G., Shusas, E., McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, 251-268.
- Sala, O. (2008). *El cambio en el uso del suelo es la principal amenaza ambiental*. <http://www.publico.es/ciencias/60928/el-cambio-en-el-uso-del-suelo-es-la-principal-amenaza-ambiental>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2010). *Estadísticas*. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.1_Vegetacion/index.shtml.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (1985-2021). *Landsat 4 (Sensor TM) (USGS, 1985) y 8 (Sensor TM) (USGS, 2021)*, sitio web Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- Turner, B. y Meyer, B. (1994). Global Land Use and Land Cover Change: An Overview. En W. Meyer y B. Turner II (eds.) (pp. 3-10) *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Turner, B., Clark, R., Kates, W., Richards, J., Mathews, J. y Meyer, W. (eds.) (1990). *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge: Cambridge University Press.

Capítulo 7. Diagnóstico de amenazas geológicas. Caso de estudio: caminos y carreteras del Sur del Estado de México

ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ ¹

JUAN CARLOS GARATACHÍA RAMÍREZ ²

MIGUEL EDUARDO GARCÍA REYNA ³

DANIEL FERNANDO GÓMEZ BENÍTEZ ⁴

JOSÉ LUIS EXPÓSITO CASTILLO ⁵

Introducción

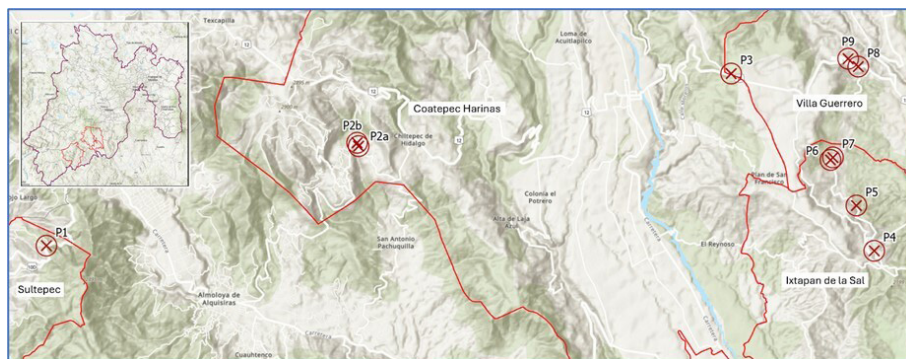
El presente trabajo se elaboró a partir de la solicitud presentada a la Facultad de Geografía por parte de la Junta de Caminos del Estado de México para realizar el estudio de riesgo geológico en los diversos caminos y carreteras del sur del Estado de México, que han sido afectadas por procesos de remoción en masa. En este tenor, se celebró una reunión previa entre académicos y autoridades de la facultad y la citada dependencia con fecha del 16/01/2025, en la cual se expusieron detalles de dichos eventos.

-
- 1 Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra – Unidad Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
 - 2 Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra – Unidad Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
 - 3 Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra – Unidad Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
 - 4 Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra – Unidad Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
 - 5 Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Se dejó claro que un estudio que sustente la rehabilitación de los caminos afectados en términos de su diseño y resistencia a futuros eventos, conlleva al análisis riguroso de las características geotécnicas, hidrogeológicas y topográficas de los diversos sitios objeto de estudio que requieren de técnicas de perforación, muestreo, análisis de laboratorio y aplicación de métodos geofísicos; todos con una inversión de recursos para su realización. No obstante, la Facultad de Geografía ofreció realizar una visita de reconocimiento a los sitios afectados para efectos de caracterizar los procesos de remoción en masa, identificar posibles causas y emitir recomendaciones respecto de los estudios que deberán realizarse previo a un nuevo diseño y construcción; la cual se efectuó el 29 de enero del año 2025.

De esta manera, se visitaron 9 puntos ubicados en el sur del Estado de México, donde ocurrieron diferentes eventos geológicos entre los meses de agosto a octubre del año 2024; cartografiados en sitios de carreteras, laderas de elevaciones correspondientes a los municipios de Sultepec, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero (Figura 1).

Figura 1. Localización de los nueve puntos visitados el jueves 29 de enero de 2025



Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 1 se muestra el listado de los nueve sitios visitados, sus datos de ubicación, así como la fecha en la que ocurrieron los procesos de remoción en masa que afectaron a las carreteras y caminos objeto de estudio; esto de acuerdo con la información reportada por la Junta de Caminos del Estado de México.

Cuadro 1. Sitios que presentaron afectaciones por procesos geólogo-geomorfológicos

Punto	Municipio	Localidad	X	Y	Fecha del evento
1	Sultepec	Sin dato	400381	2088005	16/08/2024
2a	Coatepec, Harinas	Chiltepec, Las Vueltas	410374	2091166	30/09/2024
2b	Coatepec, Harinas	Chiltepec, Las Vueltas	410326	2091272	30/09/2024
3	Coatepec, Harinas	Agua Amarga	422300	2093469	16/08/2024
4	Ixtapan de la Sal	San Miguel Laderas	426880	2087843	29/09/2024
5	Ixtapan de la Sal	San Miguel Laderas	426309	2089280	29/09/2024
6	Ixtapan de la Sal	San Miguel Laderas	425480	2090728	29/09/2024
7	Ixtapan de la Sal	San Miguel Laderas	425561	2090808	29/09/2024
8	Villa Guerrero	Totolmajac	426368	2093690	09/10/2022
9	Villa Guerrero	Totolmajac	426046	2093939	09/10/2022

Fuente: elaboración propia, con base en trabajo de campo, enero de 2025 y registros de la Junta de Caminos del Estado de México (comunicación personal, 16 de enero de 2025).

El diagnóstico resultante se orientó a brindar información sobre la extensión, delimitación de los eventos, características geólogo-geomorfológicas en las que ocurrieron, dinámica actual, posibles causas detonantes y propuestas de atención para cada sitio en función de las citadas características.

Antecedentes

La región sur del Estado de México presenta una recurrencia documentada de deslizamientos de tierra que afectan la red carretera local, especialmente durante temporadas de lluvias intensas. Autoridades estatales han reportado múltiples eventos anuales que generan cierres y bloqueos parciales de vías como la Tenango–Ixtapan de la Sal, Coatepec Harinas–Porfirio Díaz y accesos rurales en Sultepec y Villa Guerrero. De acuerdo con una nota publicada en el diario Comunicadores (2025) en 2025, por ejemplo, se atendieron al menos 45 deslizamientos de tierra en 24 municipios del estado; concentrándose en la zona sur, lo mismo en algunos municipios como Sultepec estos fenómenos han venido ocurriendo repetidamente en los últimos años.

La recurrencia de estos eventos se asocia tanto a la geodinámica local —relieves abruptos y suelos saturables— como a la incidencia de sistemas de lluvia intensos o motivados por eventos ciclónicos que se desarrollan en el Océano Pacífico; factores que reactivan procesos de inestabilidad en laderas y taludes adyacentes en tramos carreteros y caminos rurales.

Desde el punto de vista técnico, se han generado algunos estudios que buscan documentar la ocurrencia de procesos geólogo-geomorfológicos en carreteras y caminos de la región sur del Estado de México, así como aquellos

cuyo objetivo está orientado a la comprensión de la génesis, dinámica, evolución y el peligro que este proceso representa.

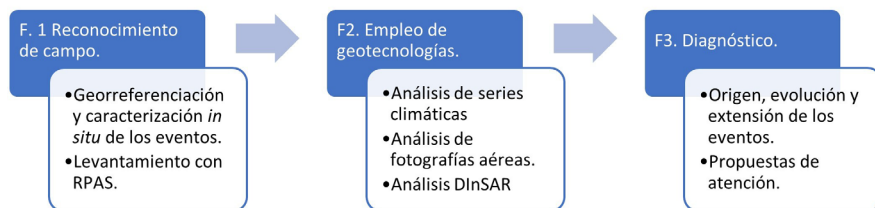
Destaca el trabajo realizado por el Instituto de Protección Civil del Estado de México (2005) el cual se enfoca en deslizamientos ocurridos entre los años 2002 y 2004 en los municipios de Amatepec, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal y Tenancingo donde se estudia aspectos como la mecánica y factores que influyen en su ocurrencia, para la emisión de recomendaciones.

Por su parte, Serrano (2018) se centró en la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos en laderas del municipio de Temascaltepec, usando métodos geomorfológicos, considerando las condiciones topográficas. En un estudio más reciente desarrollado por Gómez y Ordaz (2025) se generó cartografía de susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Tenancingo, considerando factores geológicos, geomorfológicos, de uso de suelo y de proximidad a vías de comunicación.

Metodología

Los métodos y técnicas empleados están enfocaron en diagnosticar los fenómenos geológicos, las causas que los detonaron y las posibles soluciones; esto con énfasis en los caminos y carreteras de los municipios de Sultepec, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero. En este sentido, se combinaron diversas técnicas: (1) el reconocimiento de campo (2) empleo de las geotecnologías; en particular vehículos aéreos tripulados a distancia (drones), (3) análisis de imágenes satelitales y (4) análisis de series climáticas (Figura 2). El diagnóstico resultante, se orientó a brindar información sobre la extensión, delimitación de los eventos, características geólogo-geomorfológicas en las que ocurrieron, dinámica actual, posibles causas detonantes y propuestas de atención.

Figura 2. Flujo metodológico empleado para el diagnóstico de los procesos geólogo-geomorfológicos en cada sitio



Fuente: elaboración propia.

El flujo metodológico presenta tres fases consecutivas y complementarias, con el propósito de identificar, caracterizar y diagnosticar los deslizamientos

de tierra que afectan caminos y carreteras de la región de estudio, así como proponer medidas de atención.

Fase 1. Reconocimiento de campo

La primera fase consistió en el reconocimiento directo de los sitios afectados, mediante recorridos de campo orientados a la georreferenciación y caracterización in situ de los procesos geológicos. En esta etapa se documentaron las principales evidencias geomorfológicas, el tipo de movimiento de ladera, los materiales involucrados y la relación espacial con la infraestructura carretera. De manera complementaria, se realizó el levantamiento aéreo con vehículos aéreos pilotados a distancia (RPAS por sus siglas en inglés), lo que permitió obtener información detallada de áreas de difícil acceso y generar insumos de alta resolución para el análisis posterior.

Fase 2. Empleo de geotecnologías

En la segunda fase se integraron diversas herramientas de análisis espacial y temporal. Se llevó a cabo el análisis de series climáticas, con base en datos del Servicio Meteorológico Nacional y la plataforma Climate Engine con la finalidad de identificar patrones de precipitación y eventos extremos potencialmente asociados con el desencadenamiento de los procesos geólogo-geomorfológicos. Asimismo, se realizó el análisis de fotografías aéreas obtenidas mediante RPAS, lo que permitió delimitar con mayor precisión la extensión de los eventos y evaluar cambios morfológicos recientes. De forma adicional, se incorporó el análisis mediante la técnica de interferometría, diferencia con imágenes de radar de apertura sintética -DInSAR- (Massonet y Feigl, 1998) orientado a detectar deformaciones superficiales del terreno y posibles movimientos previos o activos no evidentes durante el trabajo de campo. Dicho análisis se realizó mediante imágenes de radar de apertura sintética del Satélite Sentinel 1 de la Agencia Espacial Europea. Esta última acción se realizó de forma específica en tres sitios: sitio número 1 en Sultepec, sitio número 3 en la localidad de “Agua Amarga” en el municipio de Coatepec Harinas y sitio número 8 en la localidad de Totolmajac, en el municipio de Villa Guerrero. Dichos sitios presentan procesos de ladera cuya magnitud y extensión generan serias afectaciones a la vía de comunicación, pero también se tornan en una amenaza para la población.

Fase 3. Diagnóstico

La tercera fase corresponde a la integración e interpretación de la información generada en las etapas previas, con el objetivo de elaborar un diagnóstico integral de los procesos. Este diagnóstico se enfocó en determinar el origen, la evolución y la extensión espacial de los eventos, así como en identificar sus

principales causas detonantes. Finalmente, con base en el análisis geológico-geomorfológico y en la dinámica observada, se formularon propuestas de atención y medidas de mitigación, orientadas a reducir la vulnerabilidad de los caminos y carreteras como fortalecer la gestión del riesgo en la región.

Resultados

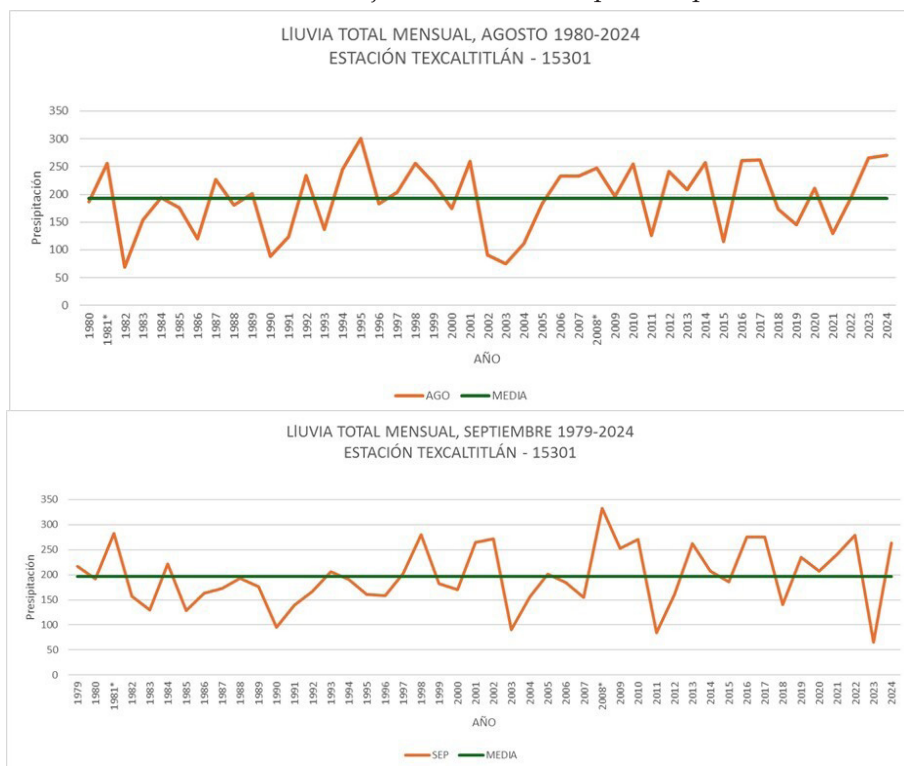
El territorio en el que se ubican los sitios afectados por procesos de remoción en masa, posee un clima tipo C(w2)(w)b(i)g el cual es templado, subhúmedo con verano largo, lluvia invernal inferior al 5%, es isotermal y su temperatura más elevada se manifiesta antes del solsticio de verano. En función de dichas características, es de esperarse que procesos como los que aquí se analizan, ocurran en los meses de verano, pues es cuando se presenta la mayor cantidad de precipitación pluvial. No obstante, es importante considerar que existen factores que condicionan la posibilidad de que se presenten procesos de remoción en masa, tales como el tipo de roca, la inclinación de las laderas, el uso de suelo, entre otros. Siendo la lluvia o los sismos factores que pueden detonar los procesos cuando las condiciones son las idóneas para que estos se materialicen.

En virtud de lo anterior, se procede a revisar el registro de precipitación total mensual de dos estaciones cercanas a los sitios con eventos de ladera: Texcaltitlán (15301) y Totolmajac (15305). La consulta de los datos en estas estaciones, se realizó con la finalidad de analizar el comportamiento histórico de la precipitación en los meses en que ocurren estos eventos.

Es importante señalar que, para el caso de la estación 15301, aún no se encuentran publicados los datos del año 2024; mientras que para la estación 15305, los datos abarcan solo hasta el año 2022 (Figuras 3 y 4). Para subsanar los vacíos de información se realizó una solicitud al respecto en el Servicio Meteorológico Nacional; no obstante, hasta la fecha de elaboración no se contó con la información necesaria; por ello, se procedió a completar la serie de tiempo con datos en la plataforma Climate Engine; cuya información se basa principalmente en estimaciones derivadas de observaciones en los sensores remotos. Como resultado del citado análisis se obtuvieron las series de tiempo para los meses de agosto, septiembre y octubre.

CAPÍTULO 7. DIAGNÓSTICO DE AMENAZAS GEOLÓGICAS. CASO DE ESTUDIO: CAMINOS Y CARRETERAS DEL SUR DEL ESTADO DE MÉXICO

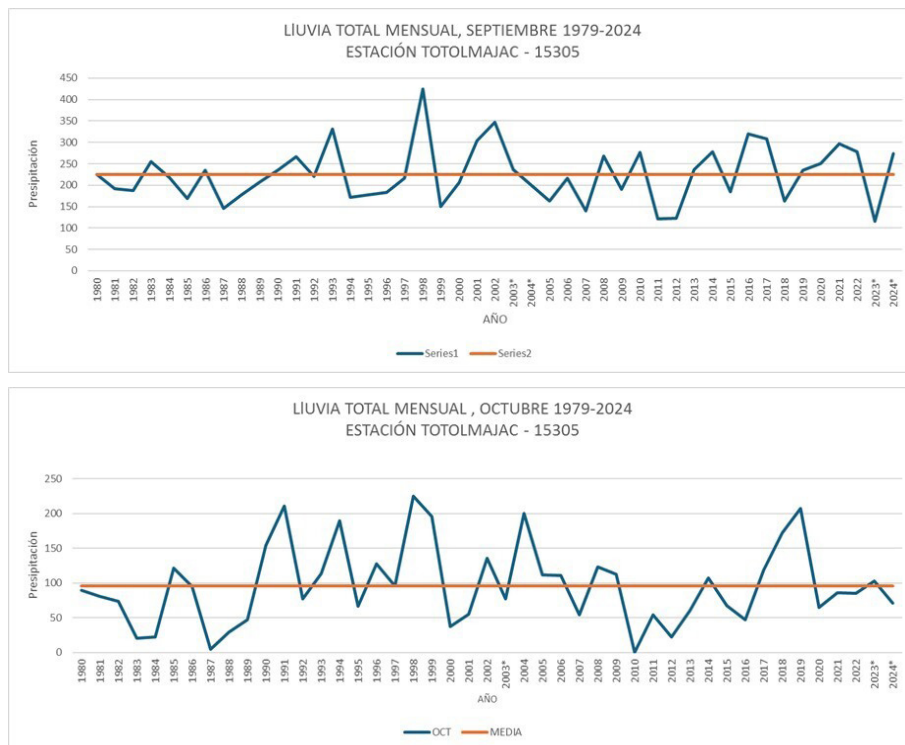
Figura 3. Series de tiempo con registro de precipitación total mensual de la estación Texcaltitlán; la línea verde representa el valor promedio, mientras la línea naranja muestra valor específico para cada año



Fuente: elaboración propia con base en datos del SMN y Climate Engine.

Los eventos de remoción en masa más cercanos a la estación Texcaltitlán son los que se presentaron en los puntos número 1, 2a, 2b y 3 (Figura 1 y Cuadro 1). Como se puede apreciar en el registro de precipitación, a lo largo del período representado, son diferentes los años en los que la acumulación mensual sobrepasa considerablemente la media; entre estos se observa el año 2024. Lo cual, demuestra que estos acumulados de lluvias, aunque extraordinarios, están en el rango de posibilidades que alguna vez ya ocurrió y, por tanto, debemos estar preparado para ello.

Figura 4. Series de tiempo con registro de precipitación total mensual de la estación Totolmajac; la línea naranja representa el valor promedio, mientras la línea naranja muestra valor específico para cada año



Fuente: elaboración propia con base en datos del SMN y Climate Engine.

Los eventos de remoción en masa más cercanos a esta estación Totolmajac son del número 3 al 9 (Figura 1 y Cuadro 1). Como se puede apreciar en el registro de precipitación, a lo largo del período representado, son diferentes los años en los que, también el acumulado mensual sobrepasa considerablemente la media. En el caso de septiembre de 2024, si bien se observa un incremento por encima de la media, este no es mayor en comparación con otros años. Por su parte, el acumulado del mes de octubre estuvo por debajo del valor promedio.

Con la finalidad de ejemplificar la ejecución del proceso metodológico descrito anteriormente, se presenta el análisis efectuado en tres sitios de relevancia en el contexto del presente estudio (sitios 1, 3 y 8).

El sitio número 1, ubicado en el km 51 del camino 36, Zinacantepec-Texcaltitlán, municipio de Sultepec, se localiza en las coordenadas 400,381 E, 2'088,005 N con una altitud de 2,335 msnm. Se visitó en fecha 29/01/2025 a las 10:00 horas. Se observó cómo el sitio sufrió un colapso de la carpeta asfáltica por los diferentes eventos ocurridos en el mes de septiembre del 2024 (Figura 5). Al momento de la visita, la afectación cubre longitudinalmente unos 60.0 m y la profundidad alcanza 2.0 m.

Figura 5. Vista general del colapso en el Km 51, carretera que comunica los municipios de Texcaltitlán y Sultepec



Fuente: trabajo de campo.

La observación detallada del socavón, indica una posible erosión del material que sustenta la carpeta asfáltica (Figura 6). Al tacto, evidencia un material cercano a arcillas gravosas que, experimentan erosión por debajo de la carretera; propiciado por el desarrollo de altos gradientes hidráulicos (Flujos de agua en el volumen de suelos capaces de arrastrar las partículas). Este fe-

nómeno es conocido como erosión subterránea o sufusión. El efecto continuado del fenómeno descrito fue dejando sin apoyo ni capacidad portante hasta ocasionar el colapso.

Figura 6. Detalle del socavón. Obsérvese las paredes aproximadamente pulidas por el arrastre de partículas. También las capas del suelo detectan rasgos de humedad



Fuente: trabajo de campo.

Por su parte, la figura 7 muestra una vista aérea del sitio, la cual se tomó con un dron Mavic 2 Zoom. Esta imagen ilustra de forma clara el impacto del colapso.

Desde el punto de vista de la precipitación, las series de tiempo demuestran que son varios los años de acumulación mensual, sobrepasando considerablemente la media; entre éstos se observa el año 2024. Lo cual demuestra que estos acumulados de lluvias, aunque extraordinarios, están en el rango de posibilidades pues alguna vez ya ocurrió. Por su parte, el análisis DInSAR revela una deformación negativa del terreno circundante al sitio donde se presentó el colapso (Figura 8).

Figura 7. Impacto del colapso ocurrido en el camino 36

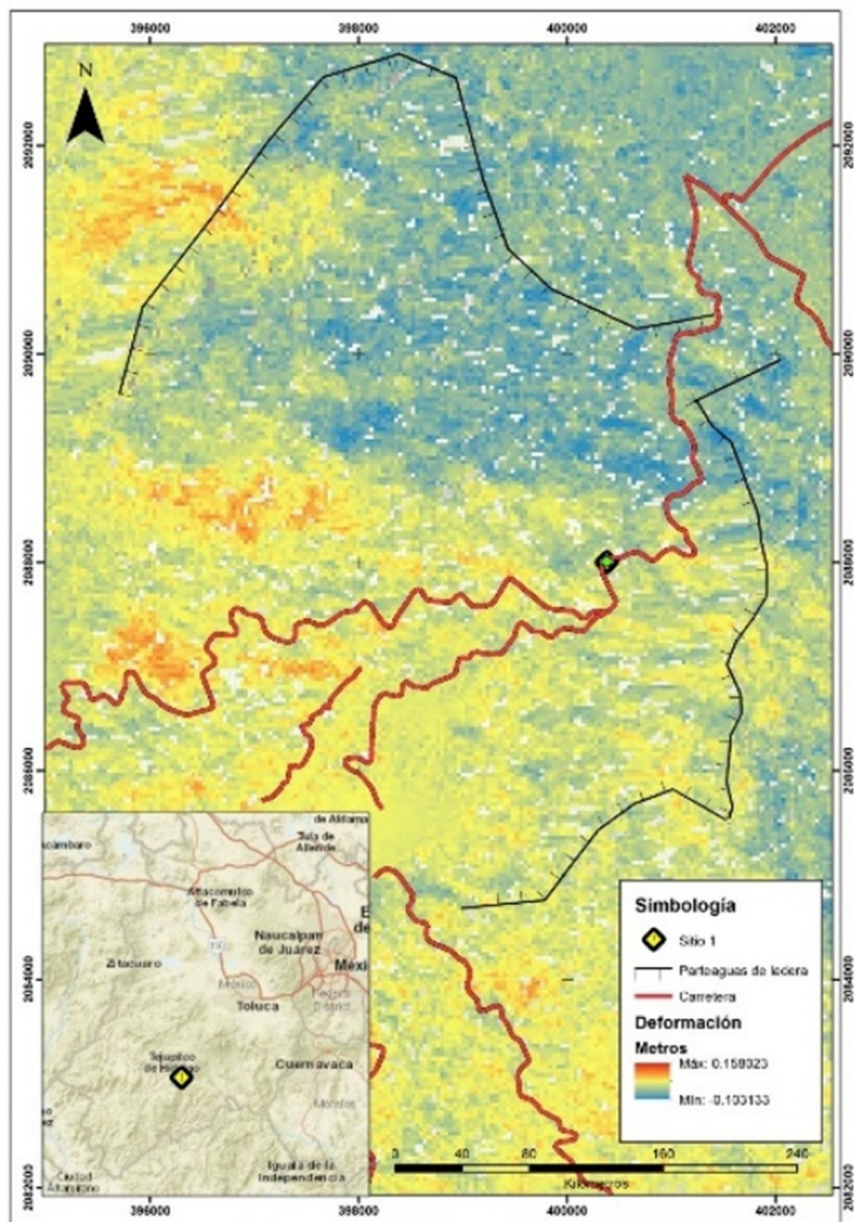


Fuente: trabajo de campo.

Uno de los factores que propicia la erosión subterránea, es la presencia de flujos de agua, capaces de remover las partículas de suelo. Por lo que, se recomienda identificar con exactitud las formas de acceso del agua a la base de la carretera. Además garantizar el buen funcionamiento de las canaletas adyacentes y sus drenes; observando el tema de infiltración de agua. Este elemento se puede aclarar con estudios geofísicos con alguna variante de métodos eléctricos.

El sitio número 3, se ubica en la localidad Agua Amarga del municipio: Coatepec Harinas; sus coordenadas son 422,300 E, 2'093,469 N con una altitud de 2,447 msnm. Se visitó el día 29/01/2025 a las 14:00 horas. Aquí se observa un deslizamiento de longitud aproximada en 35.0 m a lo largo de su corona, con un talud de profundidad cercana a los 20.0 m en un suelo arcilloso (Figura 9).

Figura 8. Deformación del terreno en el área circundante al sitio 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Deslizamiento carretero que conduce a la localidad de Agua Amarga. A: fotografía aérea y B: detalles del deslizamiento en suelo arcilloso



Fuente: trabajo de campo.

Son visibles grietas transversales, la profundidad y extensión que indican que estamos en presencia de un deslizamiento activo, es decir, aunque ya ocurrió un episodio de deslizamiento; son propicias las condiciones para que este se repita. Asimismo se puede observar en la figura 10, la técnica DInSAR que demuestra la presencia de deformaciones negativas del terreno en varios sectores de la ladera donde se emplaza el sitio afectado por deslizamiento; lo cual da cuenta de la dinámica activa de la ladera.

Para este sitio, se sugiere el estudio detallado de la ladera en su conjunto, talud arriba (zona sobre la carpeta asfáltica) y bajo carpeta (hacia la depresión). El estudio de este punto, debe combinar métodos geofísicos y geotécnicos que permitan definir el alcance en profundidad de la masa del suelo inestable. A partir de estos resultados se debe determinar las características geométricas (especialmente ángulo de inclinación) que implementan el talud carretero para un coeficiente de seguridad o factor de seguridad superior a 1.8.

Los resultados de los estudios descritos, deben justificar y marcar las pautas para la elección e implementación de alguna(s) medida(s) de estabilización. Además de los estudios mencionados y su posible aplicación de medida(s) de estabilización, debe tratarse de un sitio evidentemente complejo que sugiere la auscultación y monitoreo constante.

El tercer sitio analizado corresponde al número 8, ubicado en la localidad de Totolmajac, municipio de Villa Guerrero; sus coordenadas: 426,368 E, 2'093,690 N y se encuentra a una altitud de 2,170 msnm. Este sitio fue visitado el 29/01/2025 a las 17:40 horas.

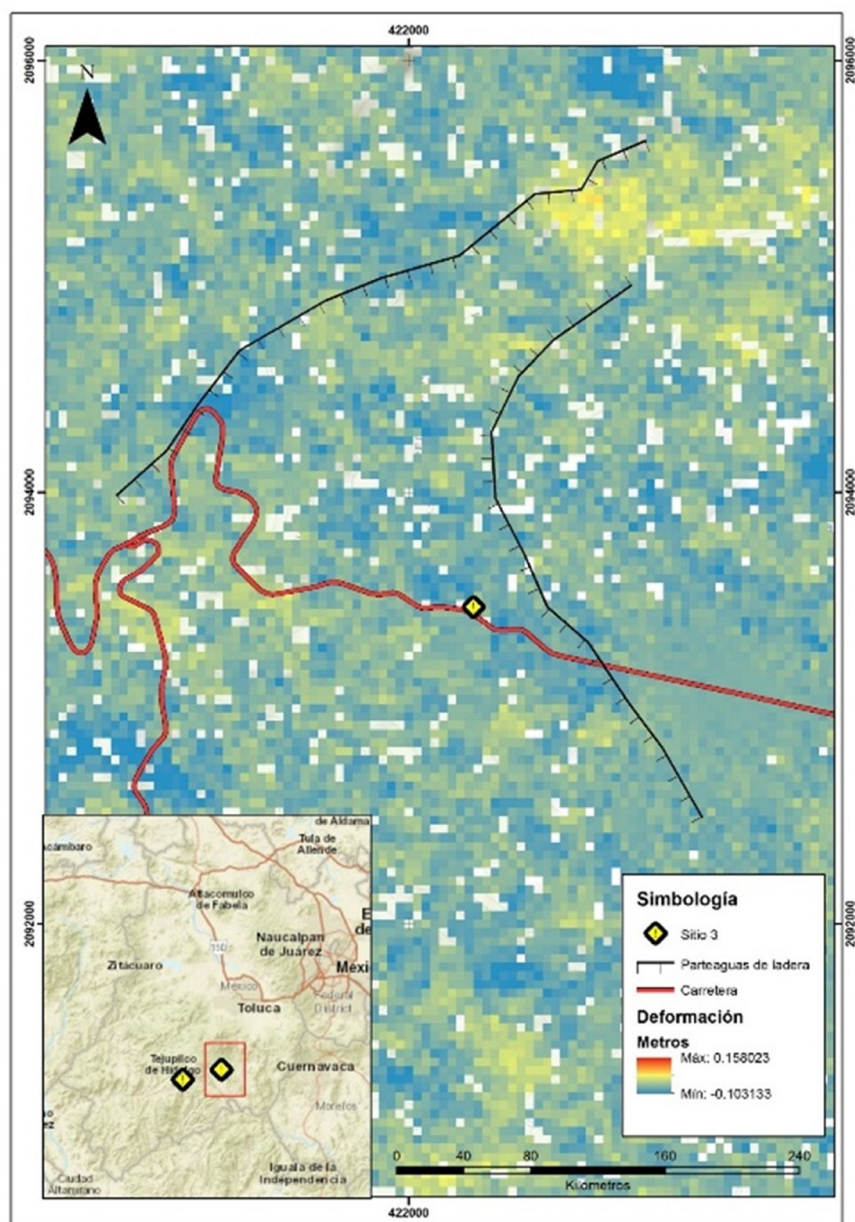
En apariencia, de acuerdo al alcance de la visión humana “ras de tierra”, presenta un hundimiento de la carretera con un movimiento vertical aproximadamente de 5.0 m en suelos areno-gravosos. Sin embargo, con la imagen obtenida gracias al Dron Mavic 2 Zoom, se observa que la carretera y terracería forman parte del cuerpo principal del deslizamiento en grandes dimensiones. Donde se identifica un escarpe principal, indicado en la figura 11 por la letra A y dos escarpes secundarios identificados por las letras B y C (Figura 11). El fenómeno ocurrido puede dimensionar durante el trabajo de gabinete una descarga e interpretación de las imágenes.

Desde el punto de vista de la precipitación, las series de tiempo demuestran que son muchos los años en que el acumulado mensual sobrepasa considerablemente la media; no así en 2022, año en el que ocurrió este evento. En otras palabras, el deslizamiento pudo detonarse por causas distintas a las lluvias. Por su parte, el análisis DInSAR revela una deformación negativa del terreno circundante al sitio donde se presentó el colapso, con énfasis en la zona proximal al escarpe principal (Figura 12).

La solución que garantice la estabilidad y duración con el tiempo de las futuras reparaciones en este tramo (punto 8) es muy compleja. Se está en presencia de un tramo de vía con 60 m, que transita por el cuerpo de un deslizamiento activo y al interior él se generan deslizamientos en dimensiones pequeñas y medianas. Por ejemplo, una medida viable puede consistir en cambiar el trazado de este tramo de carreteras y terracerías. Pero, todo lo anterior es sustentado a un solo criterio consistente en la observación de campo e interpretación de imágenes aéreas. Para arribar a un criterio más riguroso, se sugiere lo siguiente:

- a. Adquirir, mediante métodos fotogramétricos con dron, un mosaico de imágenes que cubran 500.0 m desde el punto central de la imagen mostrada en la figura 11, con las direcciones norte, sur, este y oeste. Esto es necesario para obtener modelos 3D y ortofotos que permitan dimensionar en su conjunto los eventos geomorfológicos activos en la ladera como objeto de estudio (Análisis geomorfológico).
- b. Posterior, al análisis geomorfológico, sugiere un estudio geofísico que permita definir las diferentes superficies de falla; es decir, planos con deslizamientos.
- c. Los resultados en los puntos (1) y (2), se deben valorar la medida más pertinente para el sitio o aplicar estudios complementarios (geotécnicos y cálculos de estabilidad de taludes).

Figura 10. Deformación del terreno en el área circundante al sitio 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Deslizamiento ocurrido en Totolmajac, Villa Guerrero



Fuente: trabajo de campo.

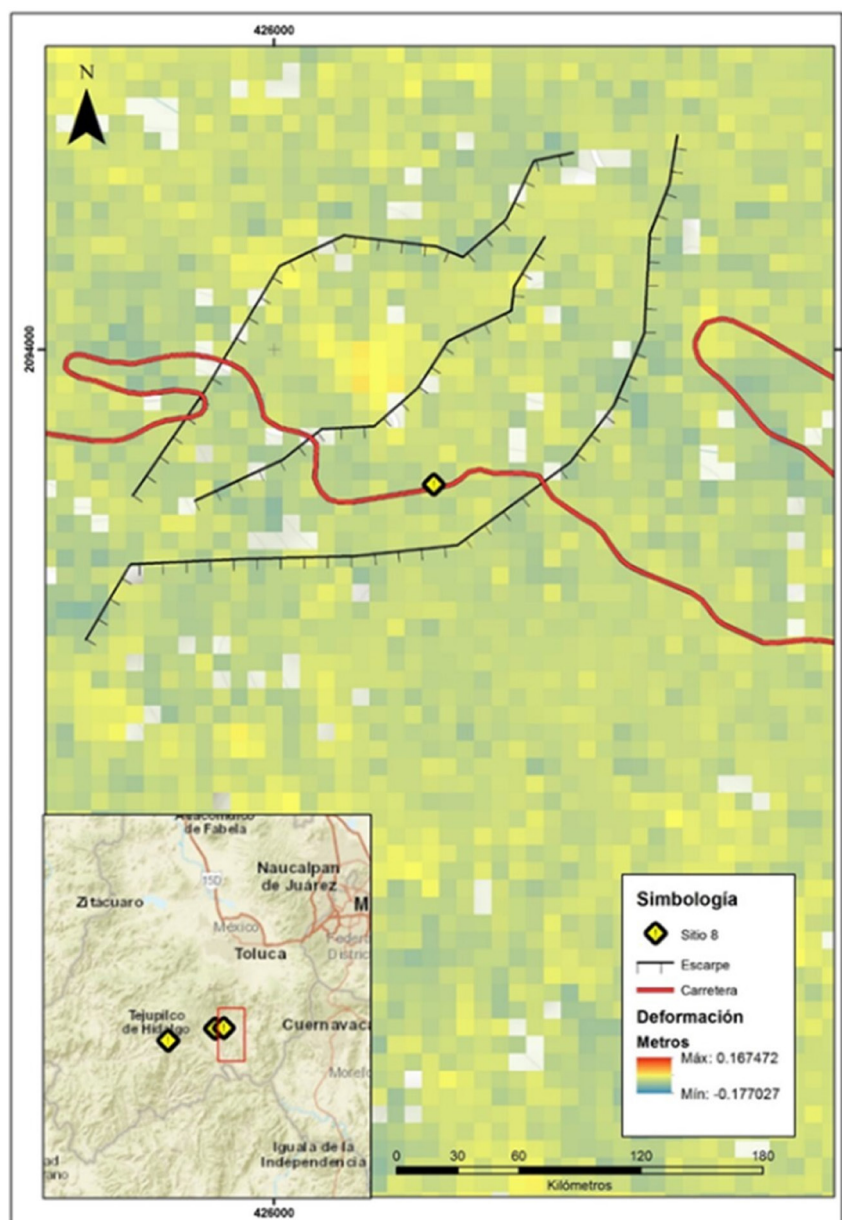
Conclusiones

La vulnerabilidad física y estructural de la infraestructura vial emplazada al sur del Estado de México, en combinación con las características físicas del territorio, generan un escenario de riesgo latente.

Acumulados de lluvias mensuales sobre los 200 mm bajo el contexto geológico-geomorfológico estudiado, pueden detonar deslizamientos de tierras. Sin embargo, es importante aclarar que la cifra mencionada no debe manejarse como un suceso aislado, pues los datos históricos indican que acumulados de 200 mm mensuales suelen ser recurrentes en la zona.

Esta investigación demuestra la efectividad de la combinación de técnicas de campo tradicionales y las herramientas geotecnológicas aplicadas al diagnóstico de amenazas geológicas.

Figura 12. Deformación del terreno en el área circundante al sitio 8



Fuente: elaboración propia.

Bibliografía

- Climate Engine. (2025). *Desert Research Institute and University of California, Merced*. <http://climateengine.org>, version 2.1.
- Comunicadores (2025). En 2025 se han registrado 45 deslizamientos de tierra en Edo-Méx. *Nota periodística digital*. <https://comunicadores.mx/2025/10/15/en-2025-se-han-registrado-45-deslizamientos-de-tierra-en-edomex/>
- Gómez, B., D., F. y Ordaz, H., A. (2025). Susceptibilidad frente a deslizamientos de tierra: Cartografía para el municipio Tenancingo, México. *REDER*, 9 (2), 205-221. <https://doi.org/10.55467/reder.v9i2.203>
- Instituto de Protección Civil del Estado de México (2005). *Cuaderno de Investigación 5. Deslizamientos de suelos ocurridos en los municipios de Amatepec, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal y Tenancingo, Estado de México*. <https://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/Publicaciones/trabajo%20de%20investigacion/cuaderno%205.pdf>
- Junta de Caminos del Estado de México (2025). Registro de afectaciones a caminos y carreteras del Sur del Estado de México, ocurridos en los años 2022 y 2024.
- Massonnet, D., y Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics*, 36(4), 441–500. <https://doi.org/10.1029/97RG03139>
- Serrano, P., D. (2018). *Análisis del peligro de deslizamientos en el municipio de Temascaltepec, Estado de México*. [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional UAEMéx. <https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105571>
- Servicio Meteorológico Nacional (2025). *Normales climatológicas por estado. Estación 15305*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Servicio Meteorológico Nacional (2025). *Normales climatológicas por estado. Estación 15301*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

Capítulo 8. Identificación de los clústeres espaciales auspiciados por las FIBRAs en la ZMVM mediante el uso de *CrimeStat Spatial Statistics*

ENRIQUE DE JESÚS CASTRO MARTÍNEZ ¹

Introducción

Las ciudades y metrópolis están sometidas a constantes dinámicas y transformaciones espaciales inducidas por el auge de la financiarización del mercado inmobiliario. Este proceso se ha convertido en una de las principales fuerzas que explican la actividad en la producción del entorno construido y los procesos de urbanización. La relación entre las finanzas y el mercado inmobiliario existe desde hace mucho tiempo y su dinámica varía en cada momento histórico-geográfico. Las recientes operaciones financieras se caracterizan por la diversidad de actores, las innovaciones tecnológicas y los instrumentos globales de inversión.

Aunque existen múltiples procesos de financiarización del mercado inmobiliario en México (Gasca y Castro, 2021a), esta investigación se centra en los instrumentos financieros que operan en los mercados bursátiles denominados Fideicomisos de Inversiones Inmobiliarias, surgidos en la década de los sesenta (siglo XX). En Estados Unidos Real Estate Investment Trust (REIT), se adopta en México con el acrónimo de FIBRAs. El propósito de estos instrumentos financieros es cotizar en las bolsas de valores mexicanas y atraer grandes flujos de inversión en los mercados de capitales, obteniendo financiación para construir y expandir el mercado inmobiliario en la ZMVM.

Es importante señalar que la financiarización del mercado inmobiliario es un proceso espacial que favorece a la acumulación y concentración de los capitales ficticios. Sin embargo, son pocos los estudios que han analizado el comportamiento espacial de los REIT (Castro 2025, Gasca y Castro 2025, Gas-

1 Instituto de Investigaciones Económicas. Universidad Autónoma Nacional de México, México.

ca y Castro 2021b, Kenny 2019, Waldron 2018, Sanfelici 2017, Aveline-Dubach 2016 y Louise 2013).

Por este motivo, el objetivo de la presente investigación es identificar la dinámica espacial de las FIBRAS en la Zona Metropolitana del Valle de México, así como la forma en que se organizan mediante clústeres espaciales la metrópoli. Para lograr este propósito, se ha recurrido a la metodología mixta que considera el enfoque teórico de la geografía urbana crítica, apoyado con métodos geoestadísticos provenientes de la geografía cuantitativa, con la finalidad de demostrar el comportamiento espacial de las FIBRAS.

Es importante mencionar el software de CrimeStat Spatial Statistics como paquete estadístico-espacial de propósito general, cuyos algoritmos son neutrales respecto al fenómeno de estudio y se pueden aplicar perfectamente al análisis de cualquier distribución puntual en el espacio, como lo es las carteras de las FIBRAS. Por tanto, su aplicación se basa en la idoneidad de sus funciones técnicas y no en su dominio temático por lo cual se promocionó inicialmente el programa.

Para cumplir el objetivo propuesto, el presente trabajo se estructura en cuatro apartados. El primero presenta el marco teórico, cuyo propósito es analizar la relación entre la financiarización del mercado inmobiliario y lo espacial. A este capítulo se le da el nombre de «clústeres espaciales». En este apartado se menciona a los REIT como uno de los vehículos globales de inversión que fueron adaptados en México con el nombre de FIBRAS. En segundo expone la metodología y los métodos espaciales utilizados en la investigación. El tercero presenta los resultados que identifican los clústeres espaciales de las FIBRAS en la ZMVM. Por último, en el cuarto apartado, se mencionan las conclusiones.

Financiarización del mercado inmobiliario y su expresión mediante las FIBRAS

La financiarización del mercado inmobiliario se posiciona como uno de los procesos urbanos que ha contribuido en la planificación y desarrollo de las ciudades metrópolis contemporáneas. Aunque este proceso lleva tiempo obrando entre nosotros (Castro 2021, Arrighi 2018, Harvey 2008, Le Goff 1982 y Pirenne 1976), actualmente su dinámica se ha expandido por todo el mundo e inmueble, dejando de ser una variable rezagada, para constituirse en un factor clave de la reproducción de los capitales ficticios; lo que algunos autores denominan “el ascenso del circuito inmobiliario” (Lefebvre 2013, 1976a y 1976b) o el segundo circuito de capital (Harvey 2019, 1990 y 1985).

Según Méndez (2018: 45), las recientes operaciones de la financiarización inmobiliaria se caracterizan por una triple alianza formada por la desregulación y regulación de los sistemas financieros, la revolución digital y globalización de los procesos. Estos factores, han contribuido a la configuración de dos

dinámicas que se pueden relacionar: se trata de un proceso con tendencias espaciales y de un proceso que promueve transformaciones urbanas.

En cuanto a la primera peculiaridad, el concepto de espacio conlleva múltiples interpretaciones según el campo disciplinar y el enfoque del investigador. Para nuestro propósito, entendemos el espacio como un proceso de producción del capitalismo cuya estrategia principal es la reproducción de los capitales (Castro 2023, Smith 2020, León 2016, Alessandri 2015, Lefebvre 2013, Moraes y Messias da Costa 2009 y Harvey 1990) que recientemente se han caracterizado por ser más ficticios.

Para el geógrafo David Harvey, el espacio urbano es un medio de acumulación y absorción de los excedentes del capital ficticio (Harvey 2019, 2008, 2007, 1990 y 1985), cuyas operaciones se realizan a través de un refinado sistema de crédito auspiciado por la Banca y mediante instrumentos financieros que operan en los mercados de deuda y capitales bajo el control de la Bolsa (Harvey 2019, 2016, 2014 y 1990). Este proceso actúa mediante dos estrategias: por un lado, el factor de impulso indispensable para la urbanización intensiva del territorio y para los modelos de organización urbana derivados de esta (Méndez 2019).

Por otro, el capital inmobiliario que ha convertido la fuente de generación de plusvalías financieras (Méndez 2018), cuya fuerza principal deriva de las prácticas espaciales del capital a través de flujos, transferencias e interacciones físicas y materiales (Harvey 2004) que de manera paralela se están convirtiendo en grandes negocios redituables (Harvey 2012), ya sea por medio de la fabricación de un entorno construido para la producción (por ejemplo, áreas industriales); en un entorno construido para el consumo (por ejemplo, centros comerciales) (Harvey citado en Castree 1998: 204) y distribución (por ejemplo, plataformas logísticas).

Este proceso cobró mayor fuerza a partir de la crisis financiera global (Klink 2020), ya que finalizó de forma abrupta la fase expansiva del ciclo económico asumiendo estos territorios como un período de recesión (Méndez 2019). Esta estrategia de salida consiste en la adopción de mecanismos e instrumentos de mercados financieros inestables, pero consolidados a nivel mundial (por ejemplo, en Estados Unidos) por parte de diversos países con mercados financieros desregulados y liberados que favorecen la entrada de grandes flujos de inversión (por ejemplo: los REIT). Así pues, la globalización de la financiarización inmobiliaria es un proceso espacial (Valenzuela 2023, Toro y Navarrete-Hernandez 2021, Aalbers 2019, Méndez 2018, Álvarez, Yu y Christophers 2018 y French, Leyshon y Wainwright 2011) cuya dinámica conlleva un comportamiento diferenciado (Aalbers 2019).

Uno de los principales vehículos de inversión global son los REIT, en México se adoptan como FIBRAS, cuya creación se beneficia una serie de factores históricos relacionados con la desregulación y la regulación del sistema finan-

ciero mexicano, así como con la liberación de la propiedad social de la tierra. Este proceso comenzó a finales de la década de los ochenta (XX), cuando se modificaron dos leyes que contribuían al ascenso de la Bolsa de Valores: una la Ley del Mercado de Valores y de la Ley de Inversión Extranjera; ambas en 1989.

En los años noventa, entró en vigor una de las principales políticas neoliberales en México con la firma del TLCAN. Entre otros temas, destacó la liberación de la economía mediante la entrada de grandes flujos de inversión extranjera y privatización de distintas empresas nacionales. A esto se sumaron dos estrategias más: en 1992 se reformó el artículo 27° de la Constitución, lo que permitió a distintas sociedades mercantiles adquirir suelo ejidal y, por otro, en 1997 se promovió la privatización del sistema de pensiones (que después se canalizaría para financiar las FIBRAS).

Durante la primera década del siglo XXI se diseñaron las bases legales para la creación de las FIBRAS a través de la iniciativa del régimen fiscal de FIBRAS Inmobiliarias, presentada en 2003 por el diputado Juan Francisco Molinar Horcasitas, del Grupo Parlamentario del PAN. Su aprobación entró en vigor al año siguiente con la Ley de Impuestos Sobre la Renta (LISR) de 2004, cuyos artículos 223° y 224° se ajustaron para incluirse en los artículos 187° y 188° de la nueva LISR. Tras su aprobación, se realizaron distintos ajustes jurídicos que contribuyeron a perfilar el esquema de los fideicomisos inmobiliarios. Entre los acontecimientos más destacados, cabe mencionar la adaptación del régimen fiscal de las FIBRAS Inmobiliarias para operar en las bolsas de valores de 2006 cuya reforma de la Ley del Impuesto al Valor Agregado (LIVA) se exime la enajenación de los certificados.

En 2007, se permitió que las FIBRAS inmobiliarias se dedicaran a conceder financiamiento para la adquisición y construcción de bienes inmuebles destinados al arrendamiento o adquisición del derecho a percibir ingresos. En 2014, se incluyó un requisito que limita el importe de los ingresos por rentas mixtas que pueden obtener las FIBRAS inmobiliarias; además, se propuso que este instrumento financiero fuera inscrito en el Registro de Fideicomisos dedicados a la construcción de inmuebles (Correa y Farías, 2021).

Por otro lado, en 2019, una iniciativa del presidente Andrés Manuel López Obrador promovió una resolución para modificar las FIBRAS inmobiliarias en México. El proyecto pretendía reformar, adicionar y derogar diversas disposiciones de la Ley del Impuesto Sobre la Renta, Ley del Impuesto al Valor Agregado, Ley del Impuesto Especial sobre la Producción y Servicios del Código Fiscal de la Federación. Sin embargo, dicha iniciativa no tuvo ningún efecto, ya que actualmente siguen operando con gran libertad en los mercados de valores mexicanos.

Al cierre de 2022, había 16 FIBRAS de distintos tipos: Uno de ellos es instrumento de financiarización de esta clase que entró en operación en el año

de 2011, con un portafolio inicial de 17 proyectos (actualmente de 532 inmuebles). En 2012 aparecieron *Macquarie* y hotel. En 2013 se registró el auge de estos instrumentos, ya que se crearon cinco más: *Danhos*, *Inn*, *Shop*, *Terrafrina* y *Prologis*. En 2014 se constituyeron dos vehículos financieros: Hd y Monterrey. En 2016 aparecieron PLUS y FIBRA E; esta última perteneciente a la industria energética. En 2017 se creó NOVA y, en 2018, otras tres. Educa, el primer fideicomiso para proporcionar educación privada en todo el país; Storage, destinado a la renta de minibodegas bajo el concepto de autoalmacenaje o “self-storage” y Upsite, especializada en el mercado de las pequeñas y medianas empresas (PYMES). En 2021 comenzó a operar FIBRA SOMA, especializada en el mercado inmobiliario orientado al desarrollo de usos mixtos del suelo.

Metodología

La presente investigación ha recurrido a una metodología mixta organizada en tres momentos. La primera es cualitativa. La segunda corresponde a estrategias cuantitativas y, a partir de ellas, se realizó una propuesta de análisis espacial.

Construcción y organización de las bases de datos

Se revisaron poco más de 50,000 páginas “hojas” de más de 100 informes anuales, un tanto más de 500 reportes trimestrales, diversos documentos y eventos relevantes de las páginas de internet de las FIBRAS; páginas web de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV), la Bolsa Institucional de Valores (BIVA) y la Asociación Mexicana de FIBRAS Inmobiliarias (AMEFIBRA). Las variables objeto de estudio son las siguientes: i) identificación de las FIBRAS inmobiliarias que operan en la Zona Metropolitana del Valle de México; ii) uso del suelo organizado por actividad industrial, comercial, servicios, mixto y residencial); iii) ubicación de la propiedad considerando la ciudad, colonia, calle y número; y, iv) área bruta rentable por inmueble.

Aplicación de procesos geoespaciales

Una vez creadas las bases de datos, se utilizaron tres Sistemas de Información Geográfica (SIG). La primera es georreferencia 397 propiedades con Google Earth Pro para después obtener el formato KMZ (*Keyhole Markup Zip* se utiliza en plataformas como *Google Earth*). A continuación, se muestra esta extensión geoespacial que se obtuvo del archivo vectorial. A partir de la muestra total de las FIBRAS, se integraron los atributos espaciales mediante el software ArcGIS10.8.

Obtenida la capa vectorial, en la ZMVM se utilizan dos programas en los que se aplican tres métodos geoestadísticos. A partir de *ArcGIS* 10.8 se aplica

el método de autocorrelación espacial (I de Moran *global*) que representa la siguiente ecuación (Siabato y Guzmán, 2019):

$$I = \frac{N}{W} \frac{\sum_i \sum_{ij} W_{ij} (x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{\sum_i (x_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

Donde:

N : es el número total de los atributos espaciales.

$W = \sum_i \sum_j W_{ij}$ responde al número total de vecindades.

A continuación, se utilizó el software *CrimeStat IV Spatial Statistics Program For The Analysis of Crime Incident Location*, donde se emplearon tres métodos geoestadísticos con el objetivo de identificar las agrupaciones espaciales de la muestra total, son las siguientes:²

- El primer método fue *Convex Hull* que permite conocer la extensión geográfica de la distribución de las jerarquías de los clústeres y el alcance de cada una de las distribuciones (Levine, 2013: 367-370).
- El segundo fue *Standard Deviational Ellipse* (SDE), con la intención de conocer la dispersión y la orientación de la muestra total de las FIBRAS (Levine, 2013: 62-63).
- El tercero fue el análisis de *K-means clustering* (*Kmeans*), que permite dividir todos los puntos ubicándolos en la elipse más cercana, lo que permite concentrar la ubicación de los inmuebles en elipses (Levine, 2013: 100-102).

En el proceso anterior, las principales concentraciones se identifican mediante elipses, pero no se muestra la continuidad de la muestra total. Por este motivo, se aplicó la estimación del método de densidad de Kernel para estudiar las entidades en contigüidad de estas. El resultado se obtuvo mediante un algoritmo de radio de búsqueda predeterminado, expresado mediante el ancho de banda; este análisis se compone de los siguientes puntos:

- Calcula el centro medio de los puntos de entrada.

2 Se trata de un programa de estadística espacial (puntos) para el análisis de localizaciones de incidentes delictivos (lugares de robo) que es subvencionado por el Programa de Mapeo y Análisis (MAPS) del Instituto Nacional de Justicia (NIJ) de los Estados Unidos (Levine, 2006: 42). Incluye más de 100 rutinas estadísticas para el análisis espacial de la delincuencia y otros incidentes. Este Software es gratuito y puede descargarse en el siguiente enlace: <https://nij.ojp.gov/topics/articles/crimestat-spatial-statistics-program-analysis-crime-incident-locations>.

- Calcula la distancia desde el centro medio (ponderado) para todos los puntos.
- Calcula la distancia media (ponderada) de esas distancias, Dm.
- Calcula el valor de la Distancia estándar (ponderada), SD.

La ecuación para calcular el ancho de banda es la siguiente:

$$\text{Radio de búsqueda} = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)}} * Dm \right) * n^{-0.2} \quad (2)$$

Donde n responde al número de atributos y, en el caso de la ZMVM, a un total de 397 propiedades. A partir del procesamiento de los atributos de las entidades de entrada en formato vectorial, se expone la salida del archivo de modelo ráster con la búsqueda se realiza por el radio del área de la circunferencia por 1 Km². La fórmula es la siguiente:

$$A = \pi r^2 \quad (3)$$

Propuesta de clústeres espaciales

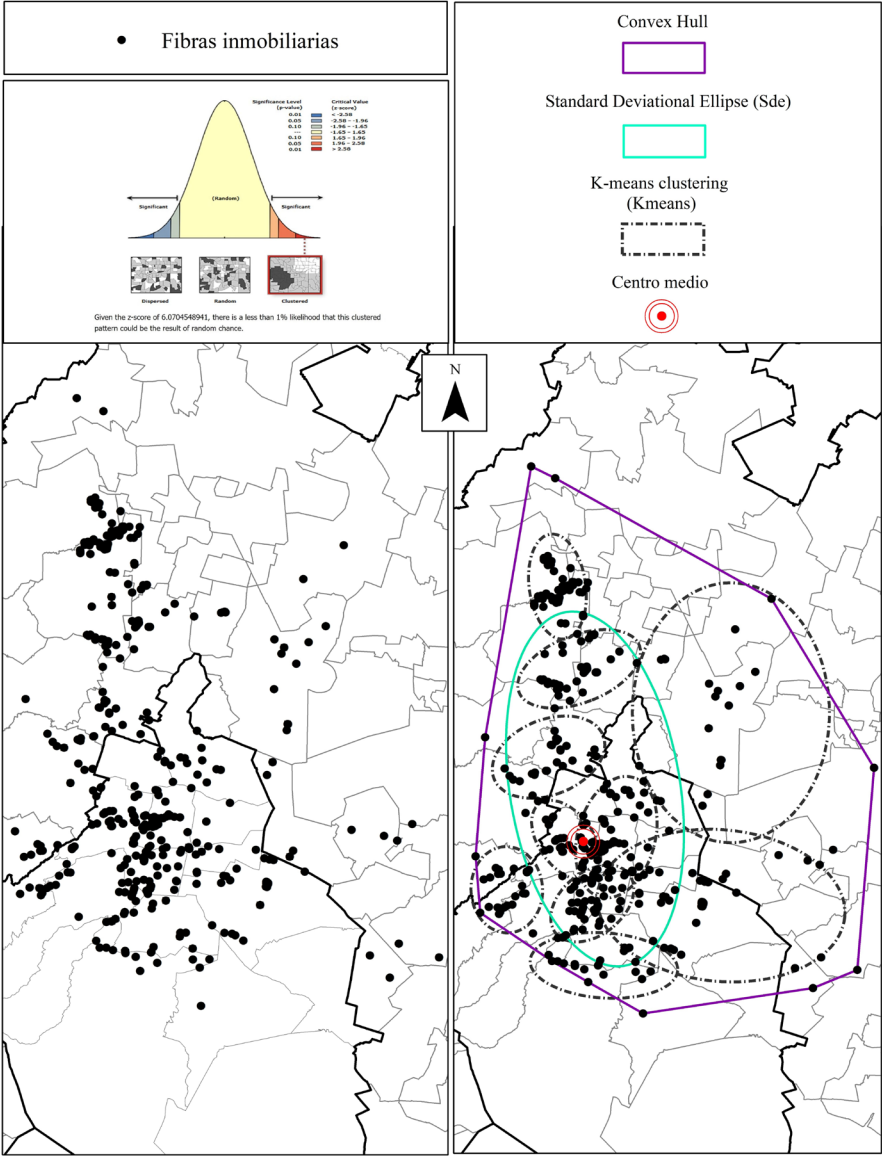
A partir de lo anterior, se realizaron dos propuestas de análisis espacial, cuya clasificación se basó en el Área Bruta Rentable (GLA, por sus siglas en inglés). Esto permitió, entre otras cosas, identificar seis clústeres espaciales auspiciados por las FIBRAS en la ZMVM.

Resultados

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) operan dieciséis FIBRAS inmobiliarias que registran un Área Bruta Rentable (ABR) de poco más de 8.6 millones de metros cuadrados, distribuidos en 397 propiedades, cuya actividad ha contribuido a la reorganización del espacio urbano.

A partir del procesamiento geoestadístico de la autocorrelación espacial (I de Moran) que la muestra un total de 397 inmuebles pertenecientes a las FIBRAS; obteniendo la distribución espacial del portafolio inmobiliario con un comportamiento concentrado. Esto se expresa mediante la hipótesis nula de aleatoriedad que se rechaza de los altos valores obtenidos en Z con signos positivos de 6.0704548941, y en P de un valor igual a 0 (como el índice de Moran's positivo) con un valor de 0.152524. Estos resultados permiten evidenciar estadísticamente la muestra que se distribuye a través de patrones de agrupamiento o clúster (Figura 1).

Figura 1. Análisis geostatístico de las FIBRAs en la ZMVM, 2022



Fuente: elaboración propia a través de la Bolsa Mexicana Valores (BMV), Bolsa Institucional de Valores (BIVA) y AMEFIBRA.

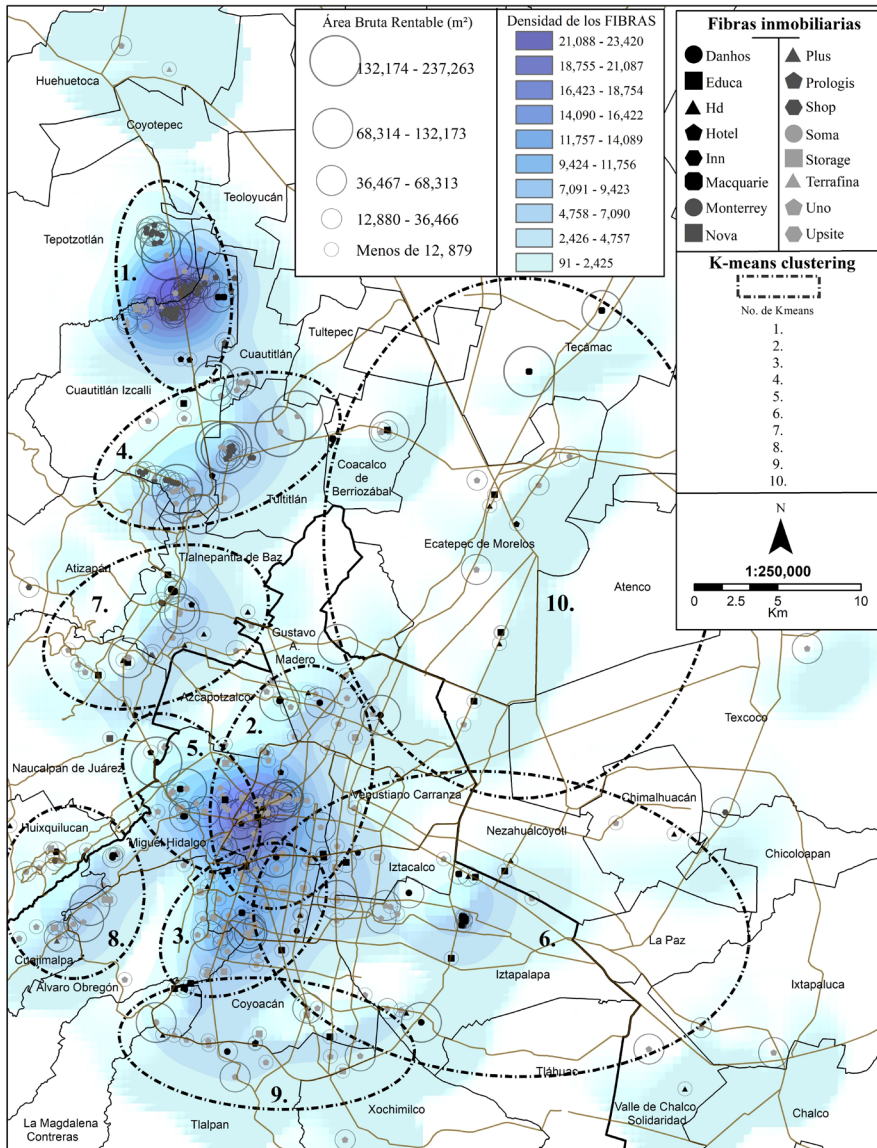
Estos clústeres se identifican con mayor precisión mediante el uso del software CrimeStat que presenta tres patrones espaciales complementarios. El primero de ellos es Convex Hull. Permite conocer la forma de la distribución de las FIBRAS en la ZMVM. En cuanto al segundo, aplica un análisis a través de la elipse de desviación estándar para determinar la orientación, cuyo resultado indica la muestra concentrada en la zona centro-oeste. Por último, se aplicó el proceso de K-means clustering para identificar las agrupaciones, y se obtuvieron diez elipses cuya integración permitió definir seis clústeres espaciales. No obstante, los procesos anteriores permiten ubicar las concentraciones espaciales de manera discontinua. Para conocer el comportamiento continuo de la muestra total, se aplicó el procedimiento de densidad de kernel, cuyos resultados permiten identificar los espacios de mayor y menor intensidad.

A partir de la figura 2 se puede observar la existencia de distintos clústeres espaciales producidos por las FIBRAS en la ZMVM que conllevan un comportamiento continuo, aunque con diferenciales tendencias en cuanto al uso del suelo. Esto se puede observar mediante la diversificación espacial de las elipses de concentración y los ejes de comunicación. Aunque es evidente la existencia de dos grandes aglomeraciones, una de ellas se encuentra en la ciudad interior y mientras que la otra al norte de la periferia de la ZMVM, en esta investigación se llevó a cabo un análisis mediante el uso de diez elipses que, al relacionarse, forman seis clústeres espaciales.

Es importante señalar que su distribución espacial registra interacciones que complementan unas a otras, generando diferentes formas espaciales o clústeres. Algunos trabajos previos, aunque con otros objetivos de investigación, proponen que estos comportamientos se representan mediante ciertas formas espaciales a través del uso de tipologías denominadas agregado, disperso, lineal, polinuclear y salto de rana (Galster *et. al.* 2001 y Besussi *et. al.* 2010). De hecho, estas mismas son fuente de inspiración para la propuesta espacial. En la ZMVM se registraron seis clústeres espaciales cuyas características difieren en cuanto al área bruta rentable por uso del suelo (ver cuadro 1).

Los clústeres espaciales se organizan de dos formas en la metrópoli. Por una parte, en el interior se obtiene cuatro dinámicas. La primera es los Corredores Intrametropolitanos con forma de Trébol. La segunda el Corredor Urbano Intrametropolitano. La tercera el Nodo Urbano Centro-Este. La cuarta el Subcentro Metropolitano. Mientras que la configuración de clústeres espaciales en la periferia metropolitana aparece dos siguiendo la numeración anterior. El quinto es el Nodo Urbano NorEste. La sexta y última es el Corredor Regional Metropolitano.

Figura 2. Clústeres espaciales auspiciados por las FIBRAs en la ZMVM, 2022



Fuente: elaboración propia a través de la Bolsa Mexicana Valores (BMV), Bolsa Institucional de Valores (BIVA) y AMEFIBRA.

Cuadro 1. FIBRAS en la ZMVM: Tipología de los clústeres espaciales

Tipo	GLA por uso de suelo						Total
	Logístico	Comercio	Servicio	Industria	Habitacional	Mixto	
Corredor Regional Metropolitano	3,318,838	270,918	36,465	126,373	0	35,042	3,787,637
Corredor Urbano Intrametropolitano	0	197,840	144,254	0	0	0	342,094
Corredores Intrametropolitanos	28,881	673,861	1,178,565	10,706	15,956	763,351	2,671,320
Trébol Subcentro Metropolitano	0	66,027	110,128	0	18,555	230,648	425,358
Nodo Urbano Noreste	0	461,584	153,472	0	0	54,190	669,246
Nodo Urbano Centro-Este	0	498,161	58,629	5,942	0	131,614	694,346
Total	3,347,719	2,168,391	1,681,513	143,021	34,511	1,214,845	8,590,001

Fuente: elaboración propia a través de la Bolsa Mexicana Valores (BMV), Bolsa Institucional de Valores (BIVA) y AMEFIBRA

Conclusiones

Aunque existen diversas maneras de medir la dinámica de la financiarización inmobiliaria, coincidimos con Gasca (2019) pues en dificultades para cuantificar el sector inmobiliario, radican las cuentas nacionales generalmente vinculadas a la industria de la construcción; excluyendo otras actividades asociadas directa e indirectamente a la financiarización, así como lo relacionado con la promoción, construcción, circulación y consumo de productos inmobiliarios.

Por otro lado, el sector privado cuenta con fuentes de información gestionadas por grandes consultoras y gestoras internacionales (CBRE, Colliers International, Savills, Jones Lang Incorporated “JLL”, Cushman y Wakefield, Soluciones Innovadoras para el Mercado Inmobiliario Comercial en Latinoamérica “Siila”) que suelen cotizar en Bolsa y ofrecen servicios comerciales sobre los mercados inmobiliarios de las principales metrópolis del mundo. Dichas firmas negocian las bases de datos a precios elevados, que no se encuentran al alcance del público general. Sus clientes potenciales son grupos inmobiliarios e instrumentos financieros dedicados a los bienes raíces.

En cuanto a las FIBRAS, se enlistan en las Bolsas de México (BMV-BIVA), tienen la obligación de presentar sus eventos relevantes y estados de información de manera anual y trimestral. Aunque estos documentos son muy valiosos, su transparencia es opaca. Hemos identificado lo siguiente: i) No suelen hacer pública la ubicación de sus propiedades, por ejemplo: Terrafina,

Macquarie, Nova y Uno; ii). Se desconoce el porcentaje de participación de los arrendatarios; iii). Los fideicomisos de origen extranjero comparten métricas financieras según su país de origen, particularmente en dólares y en pies cuadrados; lo que puede complicar a la homologación de la información.

Aunque en este capítulo no se hace mayor hincapié en el análisis crítico, sí permite observar que la distribución espacial de la muestra es desigual en la metrópoli. Así pues, se destaca la importancia de respaldar con datos cuantitativos el comportamiento del capitalismo financiarizado y la forma en que produce espacios denominados clústeres espaciales por motivos conceptuales.

Por otra parte, procesamiento espacial pone de manifiesto la importancia de integrar múltiples Sistemas de Información Geográfica en los análisis urbanos. Esto permite complementar este análisis con el programa CrimeStat Spatial Statistics para identificar la diversificación espacial de los clústeres en la ZMVM, caracterizados por dinámicas constantes de las FIBRAS. Es decir, no son absolutos ni locales, ya que en su configuración confluyen distintos procesos multiescales y multisectoriales, los cuales participan diversos actores cuya dinámica es contradictoria debido a su liquidez y especulación financiera.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado de un proyecto PAPIIT con clave IN304725 bajo el siguiente título: “Expansión de propiedades industriales y logísticas financiarizadas en las periferias urbanas: análisis de su impacto territorial y externalidades negativas”. Patrocinado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México.

Bibliografía

- Aalbers, M. (2019). Financialization. En D. Richardson, N. Castree, M. F. Goodchild, A. L. Kobayashi y R. Marston (Eds.), *The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment, and Technology*. Oxford: Wiley.
- Alessandri, A. F. (2015). A reprodução do espaço urbano como momento da acumulação capitalista. En A. F. Alessandri (Org.), *Crise urbana* (pp. 25–36). Brasil: Editora Contexto.
- Álvarez, L., Yu, L., y Christophers, B. (2018). Introduction: The spatial constitution of markets. *Economic Geography*, 94(3), 211–216.
- AMEFIBRA – Asociación Mexicana de FIBRAS Inmobiliarias. (s. f.). *Fideicomisos de Inversión en Bienes Raíces (FIBRAS)*. <https://amefibra.com/>
- Arrighi, G. (2018). *El largo siglo XX. Dinero y poder en los orígenes de nuestra época*. España: Akal.

CAPÍTULO 8. IDENTIFICACIÓN DE LOS CLÚSTERES ESPACIALES AUSPICADOS POR LAS FIBRAS
EN LA ZMVM MEDIANTE EL USO DE CRIMESTAT SPATIAL STATISTICS

- Aveline-Dubach, N. (2016). Embedment of “Liquid” capital into the built environment: the case of REIT investment in Hong Kong. *Issues y Studies*, 52(4).
- Besussi, E., Chin, N., Batty, M., y Longley, P. (2010). The structure and form of urban settlements. En T. Rashed y C. Jürgens (Eds.), *Remote sensing of urban and suburban areas*. Estados Unidos–Alemania: Springer.
- Bolsa Institucional de Valores (BIVA). (s. f.). *Valores*. <https://www.biva.mx/>
- Bolsa Mexicana de Valores (BMV). (s. f.). *Valores*. <https://www.bmv.com.mx/>
- Cámara de Diputados. (s. f.). *Diputados*. <https://web.diputados.gob.mx/inicio>
- Cámara de Senadores. (s. f.). *Senadores*. <https://senado.gob.mx/66/>
- Castree, N. (1998). *Envisioning capitalism: Geography and the renewal of Marxian political-economy* [Tesis de doctorado, University of British Columbia].
- Castro, Enrique. (2021). La era de la financiarización urbana por el ascenso del circuito inmobiliario: una lectura a partir de Henri Lefebvre. En: Gasca, J. (coordinador). *La ciudad en la era de la financiarización. Una geografía de la urbanización desde las inversiones inmobiliarias*. México: UNAM-IIEC.
- Castro, Enrique (2023). Contribución al pensamiento de David Harvey: la lógica del capital en la producción del espacio. Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 32 (1), 177-193.
- Castro, E. (2025). *Financiarización del mercado inmobiliario mediante los Fideicomisos en Bienes Raíces. Análisis de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2011–2022* [Tesis de doctorado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Correa, J., y Farías, G. (2021). *Fibras inmobiliarias*. México: Thomson Reuters.
- French, S., Leyshon, A., y Wainwright, T. (2011). Financializing space, spacing financialization. *Progress in Human Geography*, 35(6), 798–819.
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M., Wolman, H., y Coleman, S. (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 12(4), 681–717.
- Gasca, J. (2019). Circuitos globales de la financiarización del sector inmobiliario y procesos emergentes en la producción del espacio urbano. En J. Gasca (Coord.), *Capital inmobiliario. Producción y transgresión del espacio social en la ciudad neoliberal*. México: UNAM-IIEC.
- Gasca, J., y Castro, E. (2021a). Financiarización inmobiliaria en México: Análisis de los principales instrumentos de inversión y agentes participantes. En L. Salinas (Coord.), *Financiarización y mercado inmobiliario en México y América Latina* (pp. 123–144). México: Ediciones Monosílabo/Instituto de Geografía-UNAM.
- Gasca, J., y Castro, E. (2021b). Financiarización inmobiliaria en México: Una mirada desde los Fideicomisos de Inversión en Bienes Raíces (FIBRAS). *Revista INVI*,

36(103), 112–136.

- Gasca, J., y Castro, E. (2025). REITs: Key agents in the expansion of financial investments in the industrial and logistics real estate market in Mexico. En A. Valenzuela-Aguilera, L. A. Salinas, y J. G. Zamora (Eds.), *The financialization of Latin American real estate markets: A research companion* (1.^a ed.). Routledge.
- Harvey, D. (1985). *The urbanization of capital*. Oxford: Basil Blackwell.
- Harvey, D. (1990). *Los límites del capitalismo y la teoría marxista*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Harvey, D. (2004). *La condición de la posmodernidad. Investigación sobre los orígenes del cambio cultural*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Harvey, D. (2007). *Urbanismo y desigualdad social*. Madrid: Siglo XXI Editores.
- Harvey, D. (2008). *París, capital de la modernidad*. España: Akal.
- Harvey, D. (2012). *El enigma del capital y las crisis del capitalismo*. España: Akal.
- Harvey, D. (2014). *Guía de El Capital de Marx. Libro primero*. España: Akal.
- Harvey, D. (2016). *Guía de El Capital de Marx. Libro segundo*. España: Akal.
- Harvey, D. (2019). *Marx, El capital y la locura de la razón económica*. España: Akal.
- Kenny, B. (2019). The sprawl of malls: Financialisation, service work and inequality in Johannesburg's urban geography. *Transformation: Critical Perspectives on Southern Africa*, 101, 36–60.
- Klink, J. (2020). *Metropolis, money and markets: Brazilian urban financialization in times of re-emerging global finance*. London–New York: Routledge Taylor and Francis Group.
- Le Goff, J. (1982). *Mercaderes y banqueros de la Edad Media*. Argentina: EUDEBA.
- Lefebvre, H. (1976a). *La revolución urbana*. España: Alianza Editorial.
- Lefebvre, H. (1976b). *Espacio y política. El derecho a la ciudad II*. Barcelona: Península.
- Lefebvre, H. (2013). *La producción del espacio*. España: Capitán Swing.
- León, E. (2016). *Geografía crítica. Espacio, teoría social y geopolítica*. México: UNAM–ITACA.
- Levine, R. (2013). *CrimeStat IV: A spatial statistics program for the analysis of crime incident locations (Versión 4.0)*. Houston–Washington: The National Institute of Justice.
- Levine, N. (2006). Crime mapping and the CrimeStat program. *Geographical Analysis*, 38(1), 41–56. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00673.x>
- Ley de Impuesto Sobre la Renta. (s. f.). Impuesto. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lisr.htm>

CAPÍTULO 8. IDENTIFICACIÓN DE LOS CLÚSTERES ESPACIALES AUSPICIADOS POR LAS FIBRAS
EN LA ZMVM MEDIANTE EL USO DE CRIMESTAT SPATIAL STATISTICS

- Louise, D. (2013). *La production urbaine de Mexico: entre financiarisation et construction territoriale* [Tesis de doctorado en Ordenamiento Territorial, Université Paris-Est]. LATTs.
- Méndez, R. (2018). *La telaraña financiera. Una geografía de la financiarización y su crisis*. Chile: RIL editores–Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales UC.
- Méndez, R. (2019). *Ciudades en venta. Estrategias financieras y nuevo ciclo inmobiliario en España*. España: Universidad de Valencia.
- Moraes, A., y Messias da Costa, W. (2009). *Geografía crítica. La valorización del espacio*. México: ITACA.
- Pirenne, H. (1976). *Historia económica y social de la Edad Media*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Sanfelici, D. (2017). La industria financiera y los fondos inmobiliarios en Brasil: Lógicas de inversión y dinámicas territoriales. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVII(54).
- Siabato, W., y Guzmán, J. (2019). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 1–22.
- Smith, N. (2020). *Desarrollo desigual. Naturaleza, capital y la producción del espacio*. Madrid: *Traficantes de Sueños*.
- Toro, F., y Navarrete-Hernández, P. (2021). A “financialised production of space”: Analysing real estate investment funds through Lefebvre’s spatial triad. *Housing, Theory and Society*, 39(3), 359–379.
- Valenzuela, A. (2023). *The financialization of Latin American real estate markets*. New frontiers. New York: Routledge.
- Waldron, R. (2018). Capitalizing on the state: The political economy of real estate investment trust and the resolution of the crisis. *Geoforum*, 90, 206–218.

Capítulo 9. La inteligencia artificial generativa y los SIG y su impacto en los estudiantes universitarios: diagnóstico participativo con estudiantes de la licenciatura en geología ambiental y recursos hídricos, facultad de geografía de la UAEMéx

AGUSTÍN OLMOS CRUZ ¹

FERNANDO CARRETO BERNAL ²

Introducción

Se realizó un diagnóstico con alumnos que cursan la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos de la Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México; período 2025A. Se obtienen datos mediante la aplicación de un cuestionario con 20 preguntas, para generar el diagnóstico participativo de los estudiantes, con la finalidad de identificar las áreas clave y contribuir al desarrollo de competencias.

Estos datos obtenidos, buscan analizar el impacto de la inteligencia artificial generativa (IAG) en el proceso enseñanza aprendizaje de los alumnos de la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos; considerando la personalización del aprendizaje y la forma en como automatizan las tareas, identificando patrones de empleo IAG en la organización de sus estudios así

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

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

como procesos solicitados por los docentes que imparten las diferentes unidades de aprendizaje.

El impacto de la inteligencia artificial generativa(IAG) en la Educación Superior, está generando múltiples expectativas en la mayor parte de las Universidades a nivel mundial, la forma en que los estudiantes aprenden y se preparan para su vida profesional futura. La evolución que tiene permite que su aplicación sea en todas las actividades de la vida cotidiana, la cual se integra a múltiples dispositivos al alcance del estudiante.

Con estos datos se generó un análisis para identificar el comportamiento que tienen los estudiantes en la utilización de esta novedosa herramienta, incorporada al proceso de enseñanza y aprendizaje y determinar el impacto en la mejora de la calidad educativa. Esto representa un cambio de pedagogía y didáctica para los docentes de Educación Superior que tienen que actualizar su forma de enseñanza de manera acelerada, lo cual representa un desafío ético por la dependencia tecnológica que representa.

Antecedentes

El avance tecnológico permea casi todas las dimensiones de la actividad humana mediante modelos predictivos basados en el Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) y el aprendizaje automático. Estos sistemas operan a partir de datos de entrada que permiten a los algoritmos aprender de forma acumulativa —integrando información y conceptos clave— para proponer modelos de decisión adaptados a cada contexto.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas esenciales para la gestión y el análisis de datos espaciales en diversas aplicaciones prácticas. Su uso es fundamental en áreas como la administración de infraestructuras, la explotación de bases de datos catastrales, la planificación urbana y ordenación del territorio; por ejemplo, el manejo sostenible de recursos naturales y la gestión de riesgos ambientales.

Desafíos éticos y dependencia tecnológica

El presente estudio analizó el comportamiento de los estudiantes frente al uso de la IAGpT como herramienta de aprendizaje que estructura patrones de consulta en sus actividades académicas. Se pone especial énfasis en el manejo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), examinando su integración en la vida cotidiana —entendida como hábito y práctica cultural— lo cual, abre nuevas vetas de investigación que exigen un abordaje crítico y profundo.

A pesar de sus ventajas, la integración de la inteligencia artificial en la educación superior conlleva riesgos significativos, especialmente en disciplinas técnicas que dependen de herramientas digitales. En el caso de la enseñanza de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), existe el riesgo de desarro-

llar una dependencia tecnológica que derive a una adicción conductual; comprometiendo la salud mental y la vida personal del estudiante. Este fenómeno se manifiesta a través del uso excesivo de dispositivos y el aislamiento social, así como estados de malestar e irritabilidad cuando se restringe el acceso a estas herramientas de procesamiento espacial

Los estudios de Holmes y Tuomi (2022) consideran la importancia de regular la automatización con la educación tradicional. Mencionan que se tiene que ponderar la ética de la enseñanza sobre los datos que genera; los cuales no son siempre precisos, exactos o que brinden una información seria y documentada, por ello no se puede estandarizar ni alentar que se recurra constantemente. El profesor debe estar atento al desempeño académico de los estudiantes.

Cuando se considera a la IAG, se debe utilizar con responsabilidad en la enseñanza de la Educación Superior, ya que se está generalizando en mayor o menor medida el uso de las diferentes plataformas para realizar tareas. Si valoramos a los estudiantes universitarios que poseen una edad mínima de 18 años en promedio al momento de su ingreso al nivel superior, a esta edad ya son considerados adultos, como tal poseen experiencia previa en el estudio, autonomía, orientación en problemas a solucionar, por lo que se considera su principal motivación para estudiar y prepararse profesionalmente.

Automatización en la gestión educativa

La convergencia entre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Inteligencia Artificial (IA) ha dado lugar a una integración que permite automatizar el procesamiento de grandes volúmenes de datos geográficos (Big Data), incrementando la precisión en los modelos predictivos y facilitando la detección de patrones complejos. Como resultado, se optimiza la toma de decisiones en tiempo real en sectores estratégicos como la planificación urbana, la gestión ambiental y los estudios geológicos de precisión

Sin embargo, surge la interrogante sobre cómo una automatización que replique sesgos algorítmicos podría afectar la trayectoria académica del estudiantado; especialmente en el aprendizaje de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta preocupación abarca desde la privacidad de datos geoespaciales y la equidad en el acceso a software especializado, hasta el riesgo de que decisiones automatizadas comprometan el aprovechamiento escolar. Tales riesgos no solo resaltan las desigualdades preexistentes, sino que amenazan con profundizarlas, beneficiando predominantemente a quienes poseen acceso a herramientas tecnológicas de vanguardia y datos de alta resolución (Adams, 2022).

El rol del docente en la era de la IA

En la era de la inteligencia artificial, el rol docente tiene que evolucionar; de ser un mero transmisor de conocimientos a convertirse en un facilitador del aprendizaje crítico y reflexivo. Su liderazgo es clave en el proceso enseñanza-aprendizaje, ya que ejerce una guía y motivación. Maslow (1982) en su teoría “La jerarquía de las necesidades humanas” explica que la motivación es mover la voluntad de la persona para que realice aquello que necesita satisfacer como ser humano en su autorrealización.

Por ello, el docente debe enfocarse en crear un ambiente de colaboración en el aula, que comprenda la igualdad, justicia, trabajando con una metodología activa y participativa que delegue la responsabilidad a los alumnos de aprender; por ello debe guiar el uso adecuado de la inteligencia artificial, enseñando a cuestionar, analizar y contrastar la información generada por estos sistemas, promoviendo un aprendizaje basado en el pensamiento crítico y la autonomía intelectual (Khlaif *et al.*, 2024).

El docente en la educación actual, tiene que ir más allá de la mera utilización de la IAG como herramienta de consulta y apoyo al aprendizaje; debe guiar la consulta de la información obtenida y evaluar la veracidad de los datos, reconociendo los diferentes sesgos que se presentan en la recopilación así como considerar las diferentes perspectivas que se generen y estas ayuden a resolver las problemáticas planteadas con juicios de valor bien fundamentados.

Sesgos que refieren a la discriminación sistemática que producen los sistemas de inteligencia artificial, los cuales pueden reforzar prejuicios existentes, amplificar la desigualdad basándose en características como raza, género, religión o la negación de derechos y oportunidades, por otro lado, perpetuar estereotipos con los resultados inexactos o ineficientes.

Perfil del estudiantado de la LGAyRH

El perfil del estudiantado de la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos se caracteriza por la heterogeneidad de sus condiciones socioeconómicas, trayectorias escolares y hábitos de estudio. Más allá de los indicadores cuantitativos, su desempeño está estrechamente vinculado a factores cualitativos, como la motivación, curiosidad intelectual y disposición emocional. Estas cualidades son determinantes para desarrollar las habilidades técnicas y analíticas que exige el dominio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG); permitiéndoles transformar la teoría en herramientas prácticas para la resolución de problemas ambientales y la gestión óptima de los recursos hídricos.

En términos generales, el estudiantado participante muestra una notable diversidad de origen, proviniendo de diversas regiones del Estado de México

como de otras entidades nacionales; ejemplo de ello, el estado de Guerrero. Destaca incluso un caso de movilidad internacional desde Colombia. Dado que una minoría reside en la ciudad de Toluca, es imperativo que el cuerpo docente considere la heterogeneidad de sus contextos, necesidades y motivaciones. Este reconocimiento es esencial para diseñar estrategias de enseñanza-aprendizaje que se adapten a sus realidades y fortalezcan su formación profesional.

En cuanto a la trayectoria escolar previa, resultó fundamental analizar la formación del bachillerato, ya que el estudiantado proviene mayoritariamente de subsistemas estatales y federales con modelos educativos diversos. Esta disparidad en los antecedentes formativos exige un trabajo pedagógico colaborativo y estratégico para nivelar los procesos de aprendizaje. Dicha nivelación es particularmente crítica para la enseñanza de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), pues el dominio de estas herramientas requiere una base sólida en pensamiento espacial y alfabetización digital que debe estandarizarse para asegurar el éxito en su formación profesional.

El desarrollo de un trabajo pedagógico colaborativo durante el ingreso a la Facultad, permite a los estudiantes fortalecer sus hábitos de estudio al integrarse a la cultura de formación superior institucional. Dado que los métodos de aprendizaje previos suelen estar arraigados a contextos locales y entornos diversos, resulta imperativo establecer una cultura pedagógica común. Esta nivelación no solo facilita la adaptación al rigor universitario, sino que garantiza que el estudiantado cuente con las disposiciones cognitivas necesarias para abordar herramientas complejas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Sin embargo, un factor crítico que incide en el aprovechamiento escolar es la movilidad y gestión del tiempo. El estudiantado enfrenta jornadas marcadas por la privación del sueño debido a los prolongados tiempos de traslado y las grandes distancias que recorren desde sus comunidades. Estos factores no solo comprometen su nutrición y salud física, sino que los exponen a factores de estrés, por ejemplo: conflictos viales, que merman su disposición cognitiva y motivación. En este contexto de agotamiento, surge el riesgo de recurrir a la Inteligencia Artificial (IA) de manera pragmática y poco crítica, utilizándola como un recurso para cumplir con las exigencias académicas y la entrega de tareas ante la falta de tiempo.

A partir de lo expuesto, la experiencia obtenida en el fomento del aprendizaje revela que los hábitos de lectura están estrechamente ligados a la reflexión y al análisis de las acciones cotidianas. En términos generales, se observa una cultura lectora limitada, contenidos consultados ajenos a la disciplina geográfica. Esta situación impacta negativamente en el rendimiento escolar intrínsecamente relacionada con los antecedentes formativos del estudiantado. Esta carencia de comprensión lectora profunda propicia un uso superficial de los

Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de la Inteligencia Artificial donde el estudiante prioriza la obtención de resultados automáticos sobre el análisis crítico del territorio.

Metodología

El estudio es de tipo exploratorio-descriptivo y prospectivo que busca investigar el uso de la IAG en los estudiantes universitarios; describiendo su impacto en la mejora de la calidad educativa. Constituye una aproximación cuantitativa - cualitativa sobre el uso de la IAG por parte de los estudiantes que cursan el período 2025 A de segundo, sexto y octavo semestre de la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos, del Plan de estudio 2019. Por lo que el universo de estudio está constituido por 64 alumnos que contestaron 20 preguntas sobre el uso cotidiano de esta herramienta.

El diseño metodológico que se propone aplicar se basa en un enfoque mixto y constructivista que integra la teoría con la práctica intensiva y la reflexión crítica. Se busca que los estudiantes colaboren facilitando información sobre el uso cotidiano de la herramienta en el desarrollo de sus tareas y trabajos durante la semana, con lo cual se busca ofrecer explicaciones de tipo casual junto con el análisis estadístico que permite tener una visión integral de su uso.

Para ello se define un conjunto de indicadores y variables: algunos contenidos en información documental de primera mano (registros y archivos), otras se refieren a información obtenida directamente de los estudiantes, mediante una guía de entrevista y encuesta. El análisis del acceso a la IA, en este trabajo permite especificar que el tipo de maniobra es un estudio de carácter observacional, el análisis de la información y el tipo de estadísticos empleados es analítico.

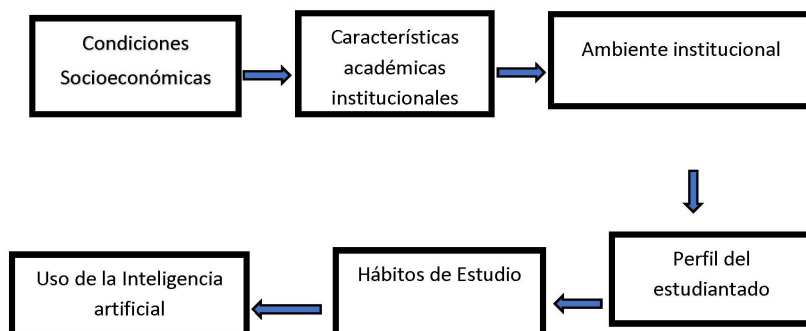
Diseño de estudio. Se formula este trabajo con la integración de los alumnos que son sujetos de observación por semestre y alude a un grupo de estudiantes que contestaron la encuesta. En este sentido, se consideran a los alumnos que cursan la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos del Plan de Estudios 2019.

Ubicación espacio temporal. El presente trabajo se realizó en la Facultad de Geografía de la UAEM, con alumnos que cursaron el período 2025 A.

Criterios de inclusión (población de estudio). Se incluyeron también los estudiantes que cursaron el segundo, sexto y octavo semestre de la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos que quisieron participar, con la finalidad de conocer como utilizan la IA en cada etapa y determinar su aprovechamiento en función del rendimiento y limitaciones.

Variables: A reserva de que el proyecto requiera algunos ajustes. En la siguiente figura se anuncian las variables consideradas (hasta el momento) para el análisis del uso de la IAGpT (Esquema 1).

Esquema 1. Variables para interpretar el impacto de la IAG



Fuente: elaboración propia con base a Tesis de Doctorado en Educación de Reyes Torres C. (2009). La deserción en la Licenciatura en Geografía de la UAEM, un análisis desde las trayectorias escolares. Cohorte 2004-2009, Centro de Estudios Superiores en Educación, México D. F.

El procedimiento por etapas:

En la primera etapa se sustenta el análisis sobre las condiciones socioeconómicas y características institucionales, además de revisar el perfil del estudiantado, considerando lugar de procedencia, hora en que se levantan y la distancia a recorrer diario para asistir a la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Constituye una forma para obtener datos válidos, fiables y oportunos.

En la segunda etapa, se analizan los datos obtenidos en la aplicación de la encuesta, (20 preguntas) relacionada con la utilización de la IAG para el desarrollo de las clases, elaboración de tareas y la optimización del tiempo. En este sentido se buscó obtener información que permita conocer si favorece el aprendizaje, su lingüística o las habilidades profesionales requeridas para su desempeño profesional, por lo que se presentan los resultados obtenidos.

Resultados

Primera etapa

Los alumnos que integran este estudio provienen de municipios del Valle de Toluca, del estado de Guerrero y Colombia. Con una edad promedio de ingreso de 18 años. Su perfil sociodemográfico muestra el 47% viviendo con sus padres. Por otro lado, un 18% renta alojamiento cerca de Ciudad Universitaria debido a la lejanía de sus hogares, y el 35% restante vive en condiciones distintas, entre las que destaca la necesidad de trabajar y estudiar simultáneamente

Por lo tanto, sus hábitos de estudio varían según su condición económica. En cuanto al uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ha identificado que la ubicación periférica de sus hogares dificulta el acceso a espacios adecuados para el aprendizaje, incluso cuando viven con sus padres. Aunado a la falta de una cultura de lectura familiar, el entorno digital actual presenta un nuevo reto: el uso de la Inteligencia Artificial (IA). Si bien esta herramienta ofrece potencial académico en un contexto de cansancio y falta de motivación, corre el riesgo de emplearse para delegar procesos cognitivos en lugar de fortalecerlos.

Los datos espaciales analizados muestran que el 41% de los alumnos se levanta entre las 4:00 y 4:30 de la mañana, con traslados de hasta 1:30 horas. Esta movilidad crítica, cartografiada mediante SIG, explica el cansancio crónico que reduce la motivación y empuja a los estudiantes a realizar ‘vida de café’ o depender excesivamente de la IA para cumplir con sus tareas. En el cuadro 1 se detallan los horarios de despertar, vinculados a estas dinámicas territoriales y se describe los horarios.

Cuadro 1. Hábitos para despertar y levantarse de los alumnos y tiempos de traslado a la Facultad de Geografía

Hora en que te levantas	Alumno %	Alumna %	Total %	Tiempo de traslado a la facultad (horas y minutos)	Alumno %	Alumna %	Total %
03:30-04:00	0%	5%	5%	01:30-01:45	0%	27%	27%
04:00-04:30	14%	27%	41%	01:00-01:30	18%	23%	41%
04:30-05:00	5%	9%	14%	00:30-00:60	0%	5%	5%
05:00-05:30	14%	14%	27%	00:15-00:30	27%	0%	27%
05:30-06:00	14%	0%	14%	Total	45%	55%	100%
Total	45%	55%	100%				

Fuente: elaboración propia con base a cuestionario aplicado en marzo 2025.

Es imperativo señalar que, en promedio, una persona requiere entre 7 y 8 horas de sueño nocturno para mantener una salud óptima y un funcionamiento cognitivo eficaz. No obstante, este hábito suele ser subestimado en las investigaciones académicas. Al integrar el análisis de movilidad mediante SIG, se observa que el tiempo dedicado a los traslados diarios reduce drásticamente las horas de descanso efectivo, lo que deriva en una motivación significativamente baja. Esta vulnerabilidad cognitiva incrementa el riesgo de que el estudiante recurra a la IA de manera superficial, utilizándola para sustituir el esfuerzo intelectual en lugar de potenciarlo como respuesta al agotamiento físico y mental

Hábitos de lectura

En cuanto a la práctica regular y sistemática de la lectura —entendida como el hábito de consultar libros, revistas o periódicos de manera cotidiana— los

resultados muestran que no es una actividad arraigada a la rutina del alumnado. Como se observa en el cuadro 2, el porcentaje de libros leídos por año representa un promedio bajo, lo que dificulta significativamente el proceso de aprendizaje autónomo.

Cuadro 2. Hábitos de lectura

Libros leídos contando todos los registros	Alumno	Alumna	Total
	%	%	%
Relacionados a la carrera	21%	17%	38%
No relacionados a la carrera	17%	42%	58%
Sin dato	1%	1%	3%
Ninguno	1%	0%	1%
Total	40%	60%	100%

Fuente: elaboración propia con base a cuestionario aplicado en marzo 2025.

Esta carencia de comprensión lectora, analizada desde una perspectiva de Sistemas de Información Geográfica (SIG), suele coincidir con entornos donde el tiempo de traslado y el cansancio limitan el ocio formativo. Asimismo, ante este bajo hábito lector, la Inteligencia Artificial (IA) se percibe erróneamente como una solución inmediata para sintetizar textos que no lee el estudiante; lo que puede acentuar una brecha en el desarrollo del pensamiento crítico y la capacidad de análisis.

Análisis de frecuencias y distribución de respuestas en datos de seguimiento semestral

El análisis cuantitativo de los datos recopilados revela una distribución heterogénea en los patrones de respuesta, con una marcada concentración en determinadas categorías. La muestra total comprende aproximadamente 20 observaciones, todas correspondientes al período denominado “Segundo semestre”, lo que sugiere un diseño de investigación longitudinal o de seguimiento temporal específico.

La variable dependiente, representada por la frecuencia de días de uso en la última semana, presenta cinco categorías discretas que oscilan desde la ausencia total de actividad (“Nada”) hasta la participación diaria (“Diario”).

Análisis de la categoría modal

La respuesta “2-3 días” emerge de la categoría modal, registrando aproximadamente ocho ocurrencias, lo que representa el 74% de la muestra total. Esta concentración estadística sugiere un patrón de comportamiento predominantemente moderado entre los participantes del estudio. La prevalencia de

esta categoría intermedia puede interpretarse como indicativo de un enfoque equilibrado hacia la actividad monitoreada; donde los sujetos mantienen un nivel de participación regular pero no intensivo.

Este hallazgo es particularmente relevante desde una perspectiva comportamental, ya que sugiere la existencia de factores intrínsecos o extrínsecos que facilitan una participación sostenida pero no excesiva.

Análisis de categorías intermedias y su significación

La categoría “Nada” registra únicamente 4 ocurrencias (6% de la muestra), constituyendo la categoría menos representada. Esta baja prevalencia de no participación podría interpretarse desde múltiples perspectivas teóricas

La categoría “2-3 días” presenta una frecuencia de 48 ocurrencias (73% de la muestra), posicionándose como una respuesta de mayor frecuencia intermedia-baja. Esta distribución sugiere un continuum de participación donde existe un grupo transicional entre el compromiso moderado y el diario.

La categoría “4-6 días” con cinco ocurrencias (8% de la muestra) presenta un rango que podría indicar variabilidad intraindividual o ambigüedad en la categorización. Esta categoría representa un apoyo metodológico, ya que engloba tanto comportamientos de alta frecuencia (4-6 días) como frecuencia moderada-alta.

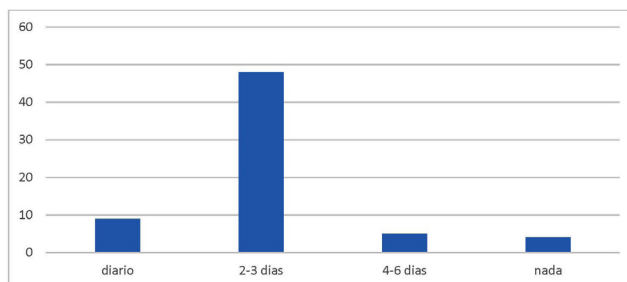
La categoría “diario” con nueve ocurrencias (13% de la muestra), presenta un rango que podría indicar que la IAG de esta categoría podría reflejar la efectividad de intervenciones previas o la presencia de factores ambientales que facilitan algún nivel de participación cotidiana, ya que se representa como una frecuencia alta como se muestra en la gráfica 1 siguiente.

Interpretación de la Categoría de Baja Participación

La respuesta “Nada” es una prevalencia de no participación que puede interpretarse bajo múltiples perspectivas teóricas. Desde un enfoque de autoselección, es posible que los individuos con tendencias hacia la no participación hayan sido menos propensos a formar parte del estudio. IA de esta categoría podría reflejar la efectividad de intervenciones previas o la presencia de factores ambientales que facilitan algún nivel de participación mínima.

En esta gráfica se puede observar la accesibilidad que se tiene de la herramienta, donde el contenido educativo apoya el aprendizaje continuo, permitiendo adquirir nuevas habilidades profesionales.

Gráfica 1. Uso semanal de la IAG. ¿Cuántos días en la última semana usaste la inteligencia artificial generativa (IAG)?



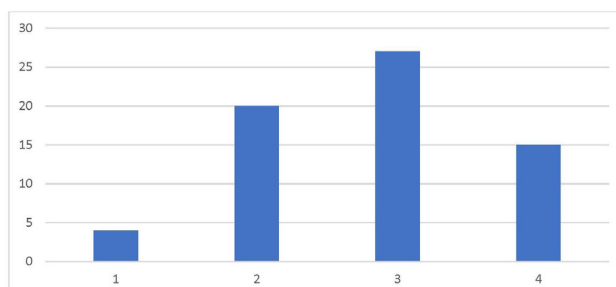
Fuente: elaboración propia con base a Encuesta aplicada en marzo de 2025

En esta gráfica se puede observar la accesibilidad que se tiene de la herramienta, donde el contenido educativo apoya el aprendizaje continuo, permitiendo adquirir nuevas habilidades profesionales.

Implicaciones Metodológicas y Distribucionales

La distribución observada presenta características de una curva asimétrica con sesgo hacia las categorías de participación moderada. Esta asimetría sugiere que la mayoría de los participantes mantienen algún nivel de compromiso con una tendencia hacia patrones de participación intermitente pero consistente. La ausencia de una distribución normal podría indicar la influencia de factores sistémicos o estructurales que favorecen ciertos patrones de comportamiento sobre otros; ejemplo la ciberseguridad como se observa en la gráfica 2.

Gráfica 2. Sensibilidad de los estudiantes en torno a la Ciberseguridad. ¿Existen problemas de ciberseguridad que pueden surgir con el uso de la IA generativa en entornos educativos?



Fuente: elaboración propia con base a Encuesta aplicada en marzo de 2025.

En esta gráfica se puede observar que los estudiantes tienen presente los peligros que corren al acceder a la herramienta, por lo que la mayoría de en-

cuestados tienden hacia patrones de participación moderada cuando se enfrentan a nuevas actividades o intervenciones no muy claras.

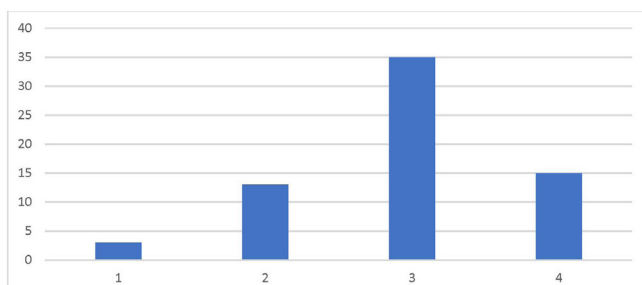
Consideraciones Teóricas sobre Patrones de Participación

Los resultados observados son congruentes con los modelos teóricos de cambio comportamental, los cuales postulan la existencia de diversos perfiles de adoptantes tecnológicos y de hábitos. La concentración de datos en categorías de frecuencia moderada-baja (2 a 3 días por semana) sugiere el desarrollo de estrategias adaptativas por parte de los participantes.

En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten inferir que factores territoriales como la dispersión geográfica y los tiempos de traslado, actúan como ‘demandas competitivas’ que limitan una adopción más intensiva. Ante esta restricción de tiempo y energía, la Inteligencia Artificial (IA) emerge a manera de recurso estratégico para que los estudiantes puedan equilibrar el compromiso académico con sus realidades personales y profesionales; buscando optimizar su rendimiento frente a la fatiga crónica identificada.

Esta interpretación es particularmente relevante en el contexto semestral, donde los participantes deben gestionar múltiples responsabilidades y compromisos temporales, pero también requiere de revisar los contenidos curriculares que estén de acuerdo con lo que demanda la sociedad actual. Ejemplo de ello se expresa sobre el curriculum que tuvo la gráfica No. 3.

Gráfica 3. Solicitan incorporar la IAG al curriculum. Es importante revisar y actualizar los contenidos curriculares frente a la IA generativa, aunque puede haber resistencia al cambio.



Fuente: elaboración propia con base a Encuesta aplicada en marzo de 2025.

Aquí se plantea la importancia de actualizar los contenidos curriculares, buscando incorporar herramientas de la IAG, la cual ha iniciado una fase de activación, rebasando la práctica docente actual, pues se está generando menos participación de buena parte del alumnado; por lo que es importante

valorar su incorporación en los planes de estudio ya que cada día son más utilizadas.

Discusión

Es fundamental resaltar que este proyecto académico se constituye como un estudio innovador en la construcción de nuevas dimensiones pedagógicas. La investigación subraya la necesidad imperativa de integrar la Inteligencia Artificial (IA) de manera formal en los planes de estudio; por ello, este acercamiento resulta vital para valorar la práctica escolar y los cambios sustanciales que se aprecian en la formación de los estudiantes. Asimismo, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ha logrado contextualizar cómo las realidades territoriales y sociodemográficas de los encuestados condicionan la adopción de estas tecnologías, permitiendo una visión integral entre el espacio vivido y la innovación digital.

De acuerdo con los resultados obtenidos sobre el impacto de la IAG en el fortalecimiento de la formación profesional, resulta imperativo revisar, valorar y ajustar el manejo de estas tecnologías en los contenidos curriculares de la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos. Esta integración debe priorizar rutas formativas diseñadas a partir de brechas de aprendizaje reales, identificadas mediante el análisis espacial de los SIG y seguir una progresión lógica dentro del plan de estudios.

Asimismo, es esencial establecer criterios de desempeño académico para los docentes, permitiéndoles identificar a estudiantes con dificultades específicas y actuar mediante recomendaciones pedagógicas precisas. Finalmente, se debe fortalecer la actualización y el desarrollo profesional docente para generar flujos de trabajo equilibrados. Cuyo objetivo es evitar exigencias sobrecargadas que comprometan la calidad de la enseñanza, asegurando que la integración de la IAG y el procesamiento de datos estructurados a través de SIG potencien sin obstaculizar la formación de excelencia.

Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación permiten establecer una relación directa entre las condiciones sociodemográficas de los estudiantes y sus procesos de apropiación tecnológica. A continuación, se presentan los puntos determinantes:

- **Determinismo Espacial y Movilidad (SIG):** Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, se corroboró la ubicación periférica de los hogares y los prolongados tiempos de traslado (hasta 1.5 horas) los cuales actúan como barreras físicas que erosionan el tiempo dedicado al descanso y al estudio. Esta configuración territorial es el factor primario que condiciona la baja motivación académica observada.

- Vulnerabilidad Cognitiva y Sueño: La privación crónica de sueño (menos de 5 horas en el 41 % de la muestra) compromete el funcionamiento mental básico. Agotamiento físico que explica la dificultad para consolidar una cultura de lectura sistemática (Cuadro 6) y predisponer del alumnado en busca de soluciones inmediatistas en sus tareas diarias.
- Uso Estratégico de la IAG: La Inteligencia Artificial Generativa no aparece solo como una herramienta técnica, sino como un recurso adaptativo. No obstante, existe el riesgo latente de que sea utilizada para delegar procesos cognitivos en lugar de fortalecerlos. Es imperativo que la formación en la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos integre la IAG no como un sustituto del pensamiento crítico, sino como un potenciador del análisis de datos complejos.
- Hacia un Nuevo Paradigma Pedagógico: La realidad escolar ha cambiado, la práctica docente debe evolucionar hacia la creación de flujos de trabajo equilibrados que reconozcan las brechas de aprendizaje reales. La integración de la IA en los planes de estudio no es opcional, sino una necesidad para garantizar la integridad académica y la excelencia profesional en un entorno altamente digitalizado y territorialmente desigual.

Bibliografía

- Adams, E. (2022), *Hoja de ruta de equidad digital de la ciudad de Nueva York*. <https://www.nyc.gov/assets/oti/downloads/pdf/DE-Roadmap.pdf>
- Downes, S. (2005), *An introduction to connective knowledge*.(blog). <http://www.downes.ca/cgi-bin/page.cgi?post=33034>
- Google. (2026). *Gemini* (Versión de abril de 2026) [Modelo de lenguaje extenso]. <https://gemini.google.com/>
- Holmes, W. y Tuomi, I. (2022), Estado del arte y la práctica de la IA en la Educación, *Revista European Journal of Education*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ejed.12533>
- Khlaif, Z. N., Ayyoub, A., Hamamra, B., B., Bensalem, E., Mitwally, M.A. Ayyoub, A., Shaid, F. (2024), Opiniones de los profesores universitarios sobre la adopción e integración de herramientas de IA generativa para la evaluación de los estudiantes en la educación superior. *Education Sciences*, 14(10), 1090. Leído en: <https://www.mdpi.com/2227-7102/14/10/1090>
- Maslow, A.H. (1982), *La Personalidad Creadora*. Editorial Kairós, Barcelona.
- Reyes, T. C. (2009). *La deserción en la Licenciatura en Geografía de la UAEM, un análisis desde las trayectorias escolares. Cohorte 2004-2009*, Centro de Estudios Superiores en Educación, México D. F.
- Siemens, G. (2004), *Conectivismo: Una teoría de aprendizaje para la era digital*. Archivado desde el original el 8 de marzo de 2016,

Capítulo 10. Guía interactiva: rutas y sabores. propuesta de proyecto colaborativo basado en SIG para entornos virtuales de aprendizaje

IVÁN GARCÍA HINOJOSA ¹

Introducción

En el actual Plan de Estudios de la Licenciatura en Gastronomía de la Universidad Autónoma del Estado de México (LGA-UAEMex) se plantea formar integralmente a los estudiantes capaces de enfrentar los posibles retos de su práctica profesional de una manera responsable, consciente e innovadora; lo cual se verá reflejado en el perfil profesional que se desea.

En este sentido, las estrategias y técnicas didácticas de enseñanza-aprendizaje aplicadas a dicho programa, están enfocadas en estimular la innovación cognitiva y tecnológica para fortalecer el aprendizaje autodirigido y significativo que permita a los alumnos adquirir los conocimientos, habilidades, actitudes y valores necesarios para reflexionar sobre su realidad y la solución de problemáticas globales, nacionales, regionales y locales. En términos generales, este instrumento pedagógico, representa una alternativa novedosa para la enseñanza-aprendizaje de la Gastronomía (Facultad de Turismo y Gastronomía, 2023).

Con relación a lo anterior, se espera que los estudiantes cuenten con elementos teóricos, prácticos y metodológicos para analizar como evaluar la relación entre la gastronomía con los diferentes ámbitos que integran al territorio, lo que permitirá diseñar, ejecutar y gestionar proyectos innovadores que coadyuven a fortalecer el quehacer gastronómico con el contexto patrimonial y su aprovechamiento sostenible de los recursos alimenticios.

Siendo así, en este capítulo se presenta una metodología alternativa de enseñanza-aprendizaje que consiste en un Proyecto Colaborativo de Entornos Virtuales de Aprendizaje denominado “Guía Interactiva: Rutas y Sabores”,

1 Facultad de Turismo y Gastronomía. Universidad Autónoma del Estado de México, México.

el cual tiene la finalidad de proporcionar recursos para el fortalecimiento de las competencias educativas y laborales en los estudiantes; centrándose en el uso de la tecnología, la investigación, la síntesis, organización y representación gráfica y espacial de información; así como el trabajo colaborativo y el aprendizaje autónomo, a fin de integrar un perfil inter y multidisciplinar en los futuros profesionistas del ámbito culinario.

Reconociendo el uso de herramientas tecnológicas digitales es significativo en todos los escenarios educativos y niveles. Esta propuesta se diseñó con la intención de innovar desde el enfoque docente para conseguir un logro de los objetivos en las dos Unidades de Aprendizaje (UU. AA)²: Geografía Gastronómica de México y Turismo Gastronómico. Las cuales se imparten en el quinto período escolar y están interconectadas a través del proceso de evaluación integral que consiste en la elaboración de un propuesta de ruta turístico-gastronómica; donde el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel fundamental, pues permitirán alcanzar con mayor éxito los objetivos de manipular y representar cartográficamente información del espacio geográfico para la creación de itinerarios digitales, la planificación de viajes y su promoción. Además de fomentar el desarrollo de competencias digitales y la aplicación óptima de los enfoques pedagógicos: conductual, cognitivo y constructivista. Elementos que originalmente no están planteados como parte del Programa de Estudios.

Marco conceptual

Actualmente, las tecnologías digitales han adquirido mayor relevancia en nuestra vida cotidiana; especialmente en el contexto educativo, donde influyen en los avances pedagógicos, las políticas escolares y las reformas educativas internacionales. Dentro de las aulas, el uso de la tecnología permite que diversas actividades didácticas ahora puedan ser interactivas, multimedia y virtuales; es decir, el uso de hardware, software y telecomunicaciones condicionan el proceso de enseñanza-aprendizaje. Asimismo, las tecnologías educativas juegan un papel importante en la dinámica escolar de los estudiantes, quienes fungen como actores principales en la recepción, manipulación, análisis y socialización de información. Al respecto, el nuevo rol de los docentes ante el uso de estas herramientas es la de facilitar el aprendizaje, creando entornos adecuados para desarrollar las competencias específicas según el nivel y objetivos esperados en los estudiantes. Lo cual implica, contar también con competencias digitales para el diseño de métodos efectivos de enseñanza, aprendizaje y evaluación (Ferrari, 2023).

2 El término Unidades de Aprendizaje también se refiere a Asignaturas o materias.

Tendencias y desafíos del uso de la tecnología en la educación superior

La educación superior ha enfrentado diversos eventos que han requerido adaptación y rediseño. La globalización y pandemia (COVID-19) han impulsado la transformación de los procesos de enseñanza-aprendizaje; principalmente a través de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), llevando a cambios significativos con un enfoque creciente en su uso para facilitar la enseñanza y el aprendizaje (Conde *et al.*, 2022).

Lo anterior, implica que los enfoques tradicionales de la educación evolucionen bajo las necesidades inherentes de la sociedad. Por lo tanto, hablar de la educación digital es resultado de la integración de sistemas informáticos, de investigación en nuevas arquitecturas tecnológicas y del cúmulo de experiencias adquiridas en los procesos de educación tradicional adaptados a la era digital (García, 2019); permitiendo interactividad en tiempo real entre los participantes (docente-alumno), fomentando el pensamiento reflexivo y crítico; desarrollando las habilidades tecnológicas para resolver problemas prácticos, logrando un aprendizaje que no limite las habilidades cognitivas en los estudiantes, más bien las diversifica e intensifica (Ruiz-Velazco, 2005).

De acuerdo con Chai *et al.*, (2017), se considera que la tecnología ha propiciado un cambio importante en la educación, por lo que es necesario que alumnos y docentes obtengan competencias digitales para analizar, comprender y solucionar las problemáticas de la sociedad contemporánea. Este cambio ha llevado a una transformación significativa en el nivel superior donde las tendencias educativas actuales se enfocan en la integración de herramientas tecnológicas avanzadas como el aprendizaje en línea, el uso de plataformas de gestión de aprendizaje (LMS) y el aprovechamiento de recursos educativos abiertos (REA). La educación superior ahora utiliza la inteligencia artificial y analítica de datos para personalizar el aprendizaje y mejorar los resultados académicos.

Además de las competencias digitales, Santiago-Trujillo y Garvich-Ormeño (2024: 57) señalan que es fundamental tanto en alumnos como docentes desarrollar habilidades blandas (*softskills*); es decir, competencias personales, interpersonales y de comunicación que no están relacionadas con conocimientos técnicos específicos, pero son esenciales para interactuar efectivamente con otras personas, trabajar en equipo, contar con inteligencia emocional y adaptarse a diferentes situaciones académicas y laborales. Estas habilidades incluyen la capacidad de liderazgo, resolución de conflictos, creatividad e innovación; todas cruciales en un mundo laboral en constante cambio.

En este sentido, destaca la importancia de la colaboración virtual en los estudiantes de gastronomía; al considerarse una competencia esencial. Pues actualmente existen equipos de trabajo relacionados al servicio de alimentos y bebidas que operan de manera remota y dependen de tecnologías como

videoconferencias, herramientas de colaboración en línea y plataformas de comunicación instantánea.

Por lo tanto, señalar estas tendencias en la educación superior contemporánea permite comprender la relevancia en la adquisición de conocimientos técnicos, digitales y habilidades blandas para enfrentar los desafíos de un entorno profesional cada vez más complejo y digitalizado.

El Papel Transformador de la Tecnología en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje del Licenciado en Gastronomía

Uno de los campos que ha experimentado una transformación relevante debido a la incorporación de la tecnología es el de la gastronomía. La fusión entre el arte culinario y las herramientas digitales ha dado paso a un proceso de enseñanza-aprendizaje más enriquecedor y eficiente.

Como disciplina, la gastronomía se caracteriza por su carácter creativo y práctico; principalmente en la experiencia directa en cocinas y aulas. La introducción de la tecnología en este ámbito ha democratizado el acceso a conocimientos culinarios globales, permitiendo explorar técnicas, ingredientes y platos de diversas culturas a través de plataformas en línea, tutoriales y cursos virtuales especializados.

En este tenor, se considera que la creación y utilización de los Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA) permite a los docentes adaptar el contenido de las necesidades individuales de los estudiantes para favorecer el logro de los objetivos del Plan y Programas de estudios de la LGA-UAEMex; los cuales no son ajenos a los enfoques provenientes de las teorías de aprendizaje: humanista, cognoscitivista, heurístico y pedagógico (Riveros; 2014; Galvis, 2020). Pues con características eficaces, cómodas y motivantes en la implementación de estrategias educativas responsables, constructivas, complejas, contextuales, participativas, interactivas y reflexivas (Kustcher y St. Pierre, 2001 citado en Alpízar Domínguez, 2019).

Otra de las transformaciones se vislumbra en los nuevos roles de estudiantes y docente de acuerdo con García-Aretio (2019) son:

- Docente: especialista en un campo disciplinar específico; tener conocimientos pedagógicos en el ámbito universitario sobre el diseño curricular de estrategias de aprendizaje, diseño de las evaluaciones basado en el uso de las tecnologías digitales. Además de fungir como guía y facilitador para los estudiantes, dejando que ellos se impulsen en su mismo aprendizaje tanto individual como colaborativo, según el objetivo.
- Estudiante: Integrar el uso de las tecnologías digitales para el desarrollo de actividades, la organización del tiempo y la comunicación. Además de utilizarlas para incentivar el pensamiento crítico en la se-

lección, organización y análisis de información; lo cual desarrollará un aprendizaje constructivista alimentado por la guía del docente el trabajo colaborativo y la autonomía.

En síntesis, la tecnología ha desempeñado un papel transformador en el proceso de enseñanza-aprendizaje para el estudiante de gastronomía. Pues gracias a esta, se han superado las limitaciones geográficas y temporales al proporcionar acceso a conocimientos y recursos de todo el mundo. Enriqueciendo las experiencias cognitivas a través de la simulación y la práctica en entornos digitales; personalizado a la educación culinaria, abordando las necesidades individuales y fomentando su desarrollo integral.

No obstante, es importante señalar que, a pesar de todas las ventajas que la tecnología ha aportado, el factor humano sigue siendo esencial para la educación en gastronomía. La pasión, la creatividad y el contacto directo con los ingredientes y las técnicas, son elementos que ninguna tecnología puede reemplazar. Por lo tanto, la metodología que aquí se propone tiene como desafío encontrar el equilibrio entre la innovación tecnológica y la esencia artística - práctica de la gastronomía.

Supuesto de investigación

La integración de la tecnología en la educación ha transformado la forma en que se lleva a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje en diversas disciplinas. En el campo de la gastronomía, donde la práctica y la creatividad son fundamentales, surge la pregunta de cómo estas herramientas pueden impactar en la formación de los estudiantes para desarrollar de manera innovadora una de las principales áreas de conocimiento que gira en torno al aprovechamiento de los recursos turísticos y gastronómicos localizados en el territorio. Para responder a la interrogante, se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivos

General

Desarrollar una guía interactiva de rutas turístico-gastronómicas como parte de una metodología de enseñanza y evaluación que incorpore tecnología, estrategias de aprendizaje autónomo y colaborativo. Además de favorecer la concentración de información útil para el diseño de productos turísticos-gastronómicos con base a las características del territorio y sus recursos disponibles.

Específicos:

- Identificar el nivel de competencia digital de los estudiantes de la LGA-UAEMex a través de un diagnóstico que favorezca el análisis del nivel de uso y aplicación de la tecnología en su aprendizaje.
- Diseñar una propuesta metodológica de enseñanza y evaluación que permita la integración de la tecnología en el logro de los objetivos de aprendizaje y en el desarrollo de competencias digitales en los estudiantes de Gastronomía.
- Evaluar la percepción de los estudiantes hacia el uso de tecnología en su proceso de aprendizaje, considerando sus opiniones sobre la efectividad, la motivación y la adaptabilidad a nuevos retos y enfoques educativos.

Método

Para este estudio se aplicó un método mixto, basado en un enfoque secuencial explicativo, abordando datos cuantitativos que permitan obtener un diagnóstico del nivel de competencias digitales de los estudiantes y, posteriormente, con la fase cualitativa se profundizó en la comprensión de las percepciones, experiencias y valoraciones del proyecto integrador “Guía Interactiva: Rutas y Sabores”. Que de acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) esta metodología favorece la complementariedad, triangulación e interpretación integral del fenómeno educativo.

Bajo este contexto, se adoptó un diseño no experimental, transversal y descriptivo-evaluativo ya que no se manipulan variables independientes o de recolección de datos en un único momento temporal; así con el propósito de describir el estado de las competencias digitales y valorar el impacto de la estrategia didáctica implementada.

Asimismo, presenta un alcance aplicado, ya que busca resolver una problemática educativa concreta mediante la implementación y evaluación de una innovación pedagógica apoyada en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La población objetivo estuvo conformada por estudiantes de la Licenciatura en Gastronomía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se trabajó con un muestreo no probabilístico por conveniencia. Para la fase de diagnóstico de competencias digitales se seleccionaron a 65 alumnos que durante el período de aplicación de instrumentos se encontraban cursando las Unidades de Aprendizaje Geografía Gastronómica de México y Turismo Gastronómico. Para la fase de evaluación del proyecto integrador con mediación tecnológica se aplicaron los resultados antes cursados; por lo tanto, contaban con la experiencia en el uso del SIG para el diseño de las propuestas.

El diseño del instrumento diagnóstico se basó en cuatro áreas de competencias (Cuadro 1), las cuales son propuestas por la Agencia Digital de Andalucía (2022) y están ajustadas al Marco Europeo de Competencias Digitales para la Ciudadanía DigComp 2.1, ampliamente validado a nivel internacional para la evaluación de competencias digitales (Carretero, *et al.*, 2017).

Cuadro 1. Áreas de Competencias Digitales

Área	Competencias
Información y alfabetización digital	• Navegar, buscar y filtrar datos, información y contenidos digitales. • Evaluar datos, información y contenidos digitales. • Gestionar datos, información y contenidos digitales.
Comunicación y colaboración	• Interactuar a través de tecnologías digitales. • Compartir a través de tecnologías digitales. • Colaboración a través de las tecnologías digitales. • Comportamiento en la red.
Creación de contenido digital	• Desarrollo de contenido digital. • Integración y reelaboración de contenido digital. • Copyright y licencias.
Resolución de problemas	• Identificación de necesidades y respuestas técnicas. • Uso creativo de las tecnologías digitales. • Identificar algunas en las competencias digitales.

Fuente: DigComp 2.1. (Carretero *et al.*, 2017).

El instrumento integró ítems tipo Likert con niveles de desempeño que permiten clasificar a los estudiantes en cuatro categorías (ver Cuadro 2): básico, intermedio, avanzado y altamente especializado.

La información obtenida fue analizada mediante estadística descriptiva (frecuencias, porcentajes y niveles de competencia), logrando identificar áreas de oportunidad para el diseño de la intervención didáctica.

Posteriormente, se desarrolló una fase cualitativa de carácter descriptivo-interpretativo, orientada a comprender la experiencia de los estudiantes durante el desarrollo del proyecto integrador. Para ello se emplearon:³

- Un cuestionario de percepción con escala Likert.
- Preguntas abiertas orientadas a recuperar opiniones sobre motivación, aprendizaje autónomo, colaboración, utilidad tecnológica y satisfacción con el proyecto.
- Observación docente del desempeño y productos elaborados (rutas digitales, videos y documentos ejecutivos).

3 <https://forms.gle/T4CcPJt2ZjgUeHWw7>

Cuadro 2. Niveles de competencia digital DigComp 2.1

Área		Competencias
Información y alfabetización digital	y	• Navegar, buscar y filtrar datos, información y contenidos digitales. • Evaluar datos, información y contenidos digitales. • Gestionar datos, información y contenidos digitales.
Comunicación y colaboración	y	• Interactuar a través de tecnologías digitales. • Compartir a través de tecnologías digitales. • Colaboración a través de las tecnologías digitales. • Comportamiento en la red.
Creación de contenido digital		• Desarrollo de contenido digital. • Integración y reelaboración de contenido digital. • Copyright y licencias.
Resolución de problemas	de	• Identificación de necesidades y respuestas técnicas. • Uso creativo de las tecnologías digitales. • Identificar algunas en las competencias digitales.

Fuente: DigComp 2.1. (Carretero *et al.*, 2017).

Esto, con la intención de medir si la incorporación de un SIG alcanzó los criterios establecidos y coadyuba en el desarrollo de competencias digitales; logrando de los objetivos de aprendizaje en satisfacción del proceso de evaluación.

Con el fin de asegurar el rigor metodológico, se implementaron procedimientos de validez y confiabilidad recomendados por Muñiz (2018) para estudios educativos. Donde los instrumentos fueron revisados por juicio de expertos (docentes del área de tecnología educativa y gastronomía de la UAE-Méx) quienes evaluaron claridad, pertinencia y coherencia de los ítems respecto a los objetivos del estudio.

Asimismo, se estimó la consistencia interna de las escalas tipo Likert mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, técnica descrita en el trabajo de Oviedo y Campo-Arias (2005) aceptando valores $\geq .70$ como adecuados para investigaciones educativas.

Finalmente, se contrastaron los resultados cuantitativos con la información cualitativa y evidencia de productos académicos, fortaleciendo la credibilidad y robustez de los hallazgos. Durante el proceso se garantizó la participación voluntaria, el consentimiento informado, la confidencialidad de los datos y el uso exclusivamente académico de la información recolectada, conforme a los principios éticos de investigación educativa.

Resultados

Diagnóstico

Considerando el escenario educativo actual donde la tecnología y la gastronomía convergen de manera constante, comprender el nivel de competencias digitales de los estudiantes de gastronomía es esencial para identificar las áreas a mejorar en su desempeño académico y profesional.

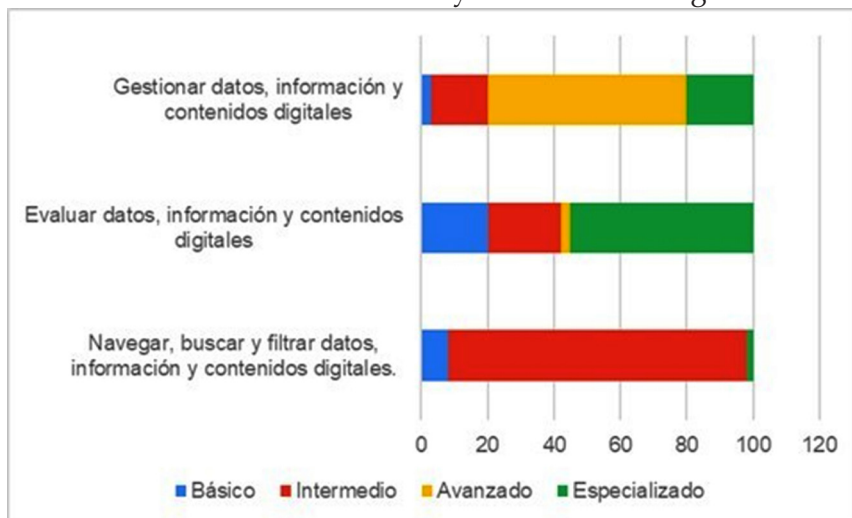
Por lo tanto, realizar un diagnóstico de las habilidades digitales en los estudiantes se convierte en un punto de partida fundamental. Este diagnóstico no sólo proporcionó información sobre la situación actual, sino que también sentó las bases para mejorar el enfoque educativo del programa de estudios, siendo enriquecido y adaptado a las necesidades de los estudiantes de gastronomía enfrentando los desafíos laborales y sociales a través del aprovechamiento de las oportunidades derivadas de la intersección de la gastronomía, la tecnología y la globalización.

Conforme a la metodología de trabajo, los resultados del cuestionario diagnóstico (competencias digitales) agrupados en las cuatro áreas definidas son los siguientes:

Área 1. Información y alfabetización digital

En esta primera dimensión se expone el conocimiento y dominio de la información, así como la alfabetización digital respecto al uso general de términos tecnológicos; predomina un nivel intermedio. Es decir, los alumnos demuestran que son capaces de realizar tareas sencillas y definidas para el caso de navegar, buscar y filtrar datos, información y contenidos digitales; los estudiantes pueden recordar y llevar a cabo estas tareas, ya sea con ayuda y en algunos casos de forma autónoma. En las tareas de evaluar datos, información y contenidos digitales, predomina el nivel especializado; lo cual significa que los estudiantes pueden resolver problemas complejos con poca definición y problemas complejos con la integración de varios factores. Para el indicador de gestión de los datos, información y contenidos digitales, el nivel que sobresale es avanzado; señalando que los estudiantes pueden emplear el conocimiento, efectuar diversas tareas y solucionar problemas relacionados con el proceso masivo de información. Cabe mencionar que este resultado se debe al trabajo de uso constante de las herramientas tecnológicas en su quehacer académico, proporcionando desarrollo de habilidades para llevar a cabo actividades de su entorno personal, social y profesional (Gráfica 1).

Gráfica 1. Información y alfabetización digital



Fuente: elaboración propia, 2023.

Área 2. Comunicación y colaboración

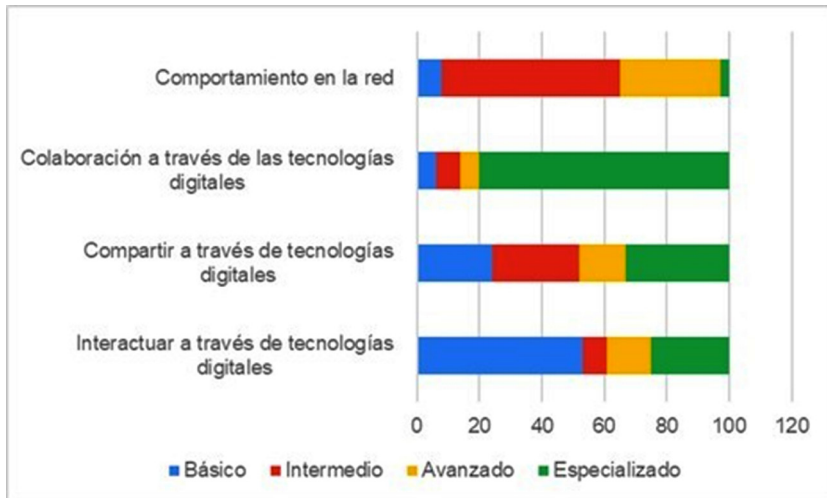
En la dimensión de comunicación y colaboración, predomina el nivel intermedio y especializado; demostrando que los estudiantes comprenden las tareas y las realizan por sí mismos para resolver problemas rutinarios; se puede observar que los estudiantes han trabajado a partir de la pandemia COVID-19 en los aspectos de comunicación y colaboración en medios digitales, dado que en meses de resguardo, el internet y las herramientas tecnológicas fueron los recursos para tener comunicación en sus actividades tanto escolares como personales, favoreciendo sus actividades. Únicamente el indicador de interacción a través de tecnologías digitales muestra un nivel bajo en el que entienden las tareas, pero no interactúan apropiadamente para socializar en la toma de decisiones, solventar dudas o comunicarse con el docente. En este caso, se sugiere trabajar con las habilidades de comunicación-interacción para garantizar un AVA factible a las necesidades de los objetivos y proyectos de aprendizaje (Gráfica 2).

Área 3. Creación de contenido digital

Para la tercera dimensión analizada, en la que se consideran como competencias el desarrollar y crear recursos a través de diversos medios tecnológicos, así como el reconocimiento de los autores y licencias de estos; se encuentra en el nivel básico. Es decir, los estudiantes entienden las tareas bajo el acompañamiento del docente, pero se les dificulta hacerlo de forma autónoma. Asimismo, se observa que los indicadores de desarrollo de contenido digital se

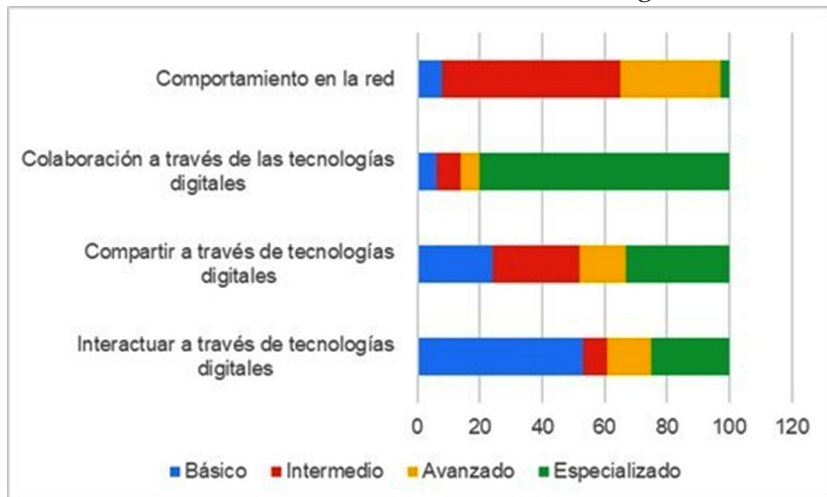
encuentran en el nivel de entendimiento de tareas básicas; lo cual indica que saben realizar organizadores gráficos, documentos y otros materiales permitiendo la evaluación del aprendizaje. Respecto al copyright y uso de licencias, se observa que los estudiantes entienden la importancia de éstas al mostrar un nivel especializado; deduciendo el proceso que vivieron durante la pandemia generó el reconocimiento de herramientas y recursos oficiales (Gráfica 3).

Gráfica 2. Comunicación y colaboración



Fuente: elaboración propia, 2023.

Gráfica 3. Creación de contenido digital

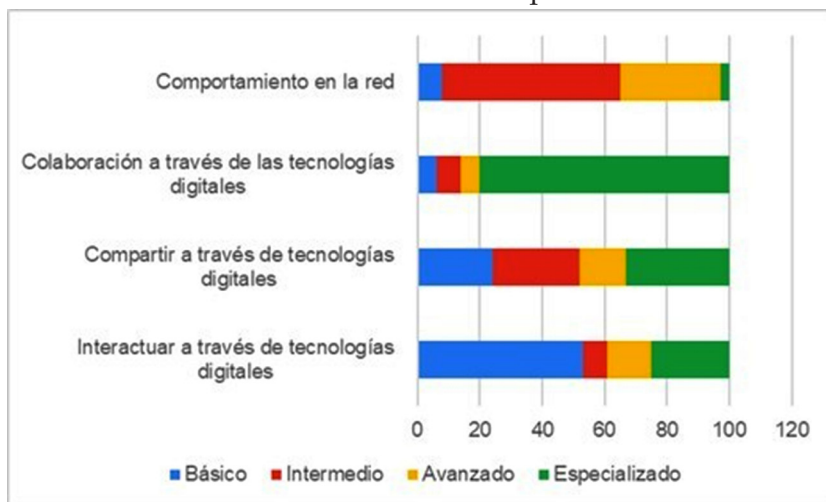


Fuente: elaboración propia, 2023.

Área 4. Resolución de problemas

Con la última dimensión relacionada a la resolución de problemas, se logró identificar que los estudiantes cuentan con un nivel promedio especializado. A pesar de que el indicador de identificación de necesidades y respuestas técnicas se marca una tendencia al nivel básico e intermedio, interpretado como “entender las situaciones más específicas en cuanto al uso de la tecnología en la educación”; el nivel de uso creativo de las tecnologías digitales fue de alta especialización, demostrando que los estudiantes de gastronomía, resuelven creativamente tareas en sus actividades académicas, aprovechando el mayor número de posibilidades en el uso de las herramientas digitales. Lo anterior se enfatiza en que para el indicador de identificación de las competencias digitales demostraron un nivel avanzado en el que comprenden las tareas y su solución bajo el esquema tecnológico que se tendría que utilizar (Gráfica 4).

Gráfica 4. Resolución de problemas



Fuente: elaboración propia, 2023.

Diseño de proyecto integrador. Guía interactiva: rutas y sabores

La propuesta de enseñanza-aprendizaje y evaluación tiene el objetivo de aprovechar las áreas de oportunidad identificadas en el diagnóstico de competencias digitales, mejorando la calidad y efectividad del aprendizaje de las UU. AA Geografía Gastronómica de México y Turismo Gastronómico; además, alentar a los estudiantes a explorar, investigar y aplicar activamente los conocimientos adquiridos por medio del uso de la tecnología. Esperando lograr una participación más activa y autónoma que favorezca asimilar información,

involucrarse en la resolución de problemas y colabore en la toma de decisiones, ampliando además, el umbral de oportunidades para incursionar en el campo laboral. Su diseño, presenta en las siguientes consideraciones:

1. Aplicar los principios de los enfoques pedagógicos: conductual, cognitivo y constructivista para que los estudiantes trabajen sobre problemas y soluciones reales relacionadas al aprovechamiento de recursos turísticos y gastronómicos; de forma colaborativa y autónoma.
2. Debe existir interacción constante e ininterrumpida entre estudiantes y docente.
3. Representar una estrategia que enfatice las destrezas cognitivas como análisis, síntesis y creatividad.
4. Considerar la retroalimentación (antes, durante y después) por parte de los docentes y entre estudiantes.
5. Prever mecanismos para satisfacer las necesidades sociales y emocionales de los estudiantes.
6. Favorecer el desarrollo de habilidades de información, comunicación y conocimiento a través de las tecnologías digitales como:
 - Modelación y simulación: Capacidad de elaboración de modelos territoriales de productos turístico-gastronómicos y su simulación mediante imágenes, animaciones, texto, voz, sonido y video.
 - Estructuración de la información bajo forma de hipertexto: Consultar, seleccionar, discriminar, clasificar y estructurar grandes cantidades de información de manera no lineal y en forma rápida y eficiente, específicamente en el diseño del itinerario.
 - Interacción y cooperación entre grupos de aprendizaje: Organización del tiempo y toma de decisiones en grupo y a distancia en relación con el proyecto integrador.
 - Interacción virtual con el entorno físico y social: Exploración del entorno, uso de redes sociales, diseño de productos de promoción y difusión.

Contexto e integración

Desde la actualización del Programa de estudios en el año 2016, se pensó en colaborar por parte del Comité Curricular a las UU. AA Geografía Gastronómica de México y Turismo Gastronómico, debido a que ambas abonan elementos teóricos, conceptuales y metodológicos para integrar productos turístico-gastronómicos innovadores y multidimensionales como lo son las rutas (aspecto considerado eje para la evaluación de ambos programas) que tradicionalmente eran llevadas a cabo a partir de la entrega y exposición de una propuesta plasmada en un documento. Sin embargo, a partir de la pandemia COVID-19 y la acelerada incursión de la tecnología; en cierta forma obligada,

orilló a los docentes a identificar y seleccionar herramientas; Para este caso, se planteó estrategias para cubrir los ejes temáticos de los programas de estudios y dar continuidad al trabajo colaborativo y al aprendizaje autónomo.

Fue así, que la estrategia de integrar una Guía Interactiva que sirviera de repositorio para las propuestas de rutas turístico-gastronómicas de los estudiantes; misma que sería alimentada con procesos de software especializado como Google Maps®, pues este Sistema de Información Geográfica, permite realizar recorridos virtuales por diferentes regiones y destinos gastronómicos de México y del Mundo. Para conocer algunos aspectos de la diversidad de ingredientes, platos tradicionales y técnicas culinarias característicos de cada lugar; además de proporcionar una herramienta de edición cartográfica con la cual se pueda diseñar de manera digital las propuestas y servir como base para que los docentes observen de manera remota o en tiempo real los avances y resultados finales; facilitando la retroalimentación y el logro de los objetivos.

Considerando lo anterior, se decide la creación de la Guía Interactiva: Rutas y Sabores, para concentrar todas las propuestas y contar así con un instrumento de evaluación innovador que permite a su vez la observación del comportamiento e influencia territorial de la actividad turística y gastronómica del país; colaborando desde la Institución en la generación de información disponible para el análisis del patrimonio por parte de alumnos, docentes e investigadores interesados en el tema.

Bajo este contexto, los resultados hasta ahora obtenidos por la aplicación de esta metodología pertenecen a alumnos de la LGA-UAEMex que han cursado dichas UU. AA en ciclos escolares 2020B al 2023B. Sin embargo, debido a su impacto en el aprendizaje y formulación de información relevante para el desarrollo gastronómico y turístico; se dará continuidad incorporando las propuestas de la generación vigente (2024B).

CAPÍTULO 10. GUÍA INTERACTIVA: RUTAS Y SABORES. PROPUESTA DE PROYECTO COLABORATIVO BASADO EN SIG PARA ENTORNOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE

Descripción pedagógica

A continuación se presentan cuadros descriptivos de las unidades de aprendizaje y su proceso de enseñanza (Cuadro 3, 4, 5, 6y 7).

Cuadro 3. Unidades de aprendizaje de Licenciatura en Gastronomía, Facultad de Turismo y Gastronomía, Universidad Autónoma del Estado de México

Unidades de Aprendizaje (UU.AA)	Clave	Período escolar en que se imparte	Tema (s) del Programa a cubrir
Geografía Gastronómica de México	LGAF16	5to Período	Unidad 3. Impacto de la gastronomía en el desarrollo socioeconómico y territorial de México. -Diseño espacial de rutas turístico-gastronómicas.
Turismo Gastronómico	LGAF39		Unidad 3. Propuesta turístico-gastronómica -Diseño de productos turístico-gastronómicos.
Nombre del Proyecto Integrador	Propuesta de ruta turístico-gastronómica		
Objetivo	Diseñar un ruta turístico-gastronómica que permita diferenciar las gastronomías regionales de México, considerando las características físicas del territorio, los recursos naturales alimenticios y las culturas culinarias como base para su aprovechamiento sustentable.		
Modalidad	Colaborativo y Colegiado		

Fuente: elaboración propia, 2023.

Cuadro 4. Proceso metodológico

Métodos	Estrategias	Recursos
Demostrativo	Investigación	Recursos Materiales
-Asistido para identificar las características y hábitos de consumo del turista y para el diseño de experiencias turístico-gastronómicas.	-Análisis y síntesis de información documental. -Organización, síntesis y representación de información cartográfica. -Trabajo colaborativo.	-Fuentes oficiales de información censal y espacial -Manuales de operación de SIG. -Bibliografía especializada en temas de turismo gastronómico.
-Método de Exploración, que propicie la comprensión e importancia de las herramientas tecnológicas para el análisis del espacio geográfico desde la perspectiva gastronómica, mediante el uso de los sistemas de información geográfica.	-Aprendizaje autónomo. -Asesorías grupales e individual. -Presentación y monitoreo de avances.	Recursos Tecnológicos -Pc / Laptop /Dispositivos móviles. -Proyector -Mapa digital de INEGI V6.0: (https://gaia.inegi.org.mx/mdm6/) -Cuenta de Gmail® -Google Maps® -Página oficial de la Secretaría de Turismo: (https://www.gob.mx/sectur) -Páginas Oficiales de los H. Ayuntamientos Municipales.

Fuente: elaboración propia, 2023.

Cuadro 5. Conocimiento

Conocimientos previos	Conflicto cognitivo	Aprendizajes esperados
-División política de México. -Localización espacial por medio de cartografía (mapas, croquis). -Conceptos clave: Turismo y turista gastronómico sostenible; espacio geográfico; región y ruta desde los enfoques geográfico, turístico y gastronómico. -Manejo de software de edición de textos y gráficos -Familiarización con la paquetería Google (Gmail, Maps).	-Confusiones respecto a las características de una ruta y los elementos que la definen. -Reconocimiento de herramientas de edición en el SIG-GoogleMaps.	-Diseñar de manera digital una ruta que incluya un itinerario multimedia basado en el aprovechamiento de recursos turísticos y gastronómicos de una determinada zona de estudio, la cual se deberá considerar por sus características físico-naturales y socioeconómicas, a fin de aprovechar las formas del paisaje para encuadrar una lógica territorial entre los nodos de atracción y actividades a desarrollar para enriquecer la experiencia de los visitantes.

Fuente: elaboración propia, 2023.

Cuadro 6. Evaluación

Conocimientos previos	Conflicto cognitivo	Aprendizajes esperados
-División política de México. -Localización espacial por medio de cartografía (mapas, croquis). -Conceptos clave: Turismo y turista gastronómico sostenible; espacio geográfico; región y ruta desde los enfoques geográfico, turístico y gastronómico. -Manejo de software de edición de textos y gráficos -Familiarización con la paquetería Google (Gmail, Maps).	-Confusiones respecto a las características de una ruta y los elementos que la definen. -Reconocimiento de herramientas de edición en el SIG-GoogleMaps.	-Diseñar de manera digital una ruta que incluya un itinerario multimedia basado en el aprovechamiento de recursos turísticos y gastronómicos de una determinada zona de estudio, la cual se deberá considerar por sus características físico-naturales y socioeconómicas, a fin de aprovechar las formas del paisaje para encuadrar una lógica territorial entre los nodos de atracción y actividades a desarrollar para enriquecer la experiencia de los visitantes.

Fuente: elaboración propia, 2023.

Evaluación por parte del alumno

A continuación, se muestra las gráficas obtenidas. En esta primera, se puede demostrar que más del 75% de los estudiantes establecieron que tanto el objetivo del proyecto como las unidades de aprendizaje cumplieron y alcanzaron los objetivos (Gráfica 5).

En el siguiente gráfico, se demuestra que las actividades realizadas pudieron desarrollar en los estudiantes los aprendizajes autónomos, significativos y colaborativos, ya que se muestra más del 80% identificaron estos (Gráfica 2).

En las siguientes dos gráficas, los estudiantes identificaron y resolvieron con éxito problemas presentados en cuanto a recursos gastronómicos y turísticos, demostrando como el proyecto cumple con el enfoque académico, planteando resolver problemas reales (Gráficas 7 y 8).

CAPÍTULO 10. GUÍA INTERACTIVA: RUTAS Y SABORES. PROPUESTA DE PROYECTO COLABORATIVO BASADO EN SIG PARA ENTORNOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE

Por último, la siguiente gráfica muestra que el proyecto aplica exitosamente las estrategias con las cuales los estudiantes alcanzan las competencias digitales establecidas, logrando que más del 80% integre estas habilidades (Gráfica 9).

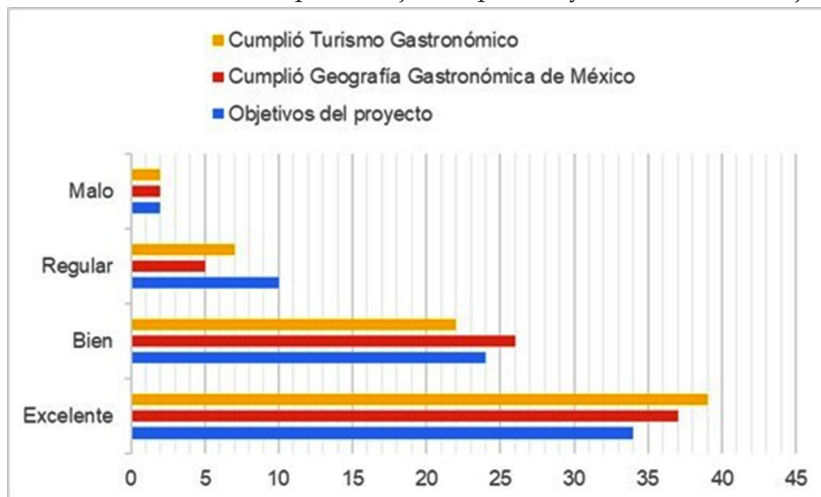
El cumplimiento de esta dinámica tuvo éxito dado que el uso de las diversas estrategias de aprendizaje y el desarrollo de los conocimientos en las sesiones de clases, favorecen los resultados y demuestran que la metodología aplicada es eficiente para desarrollar en los estudiantes competencias y habilidades para su crecimiento profesional.

Cuadro 7. Secuencia didáctica

Inicio	Desarrollo	Cierre
Los alumnos, organizados en equipos. Seleccionarán un área de estudio del territorio mexicano que destaque por la existencia de recursos turísticos y gastronómicos susceptibles de aprovechamiento y que permitan diseñar una propuesta de ruta. Una vez definida la zona elaborarán un documento que incluya: -Introducción -Marco conceptual -Metodología -Diagnóstico del contexto actual de la actividad turística. -Inventario de recursos turísticos y gastronómicos. -Análisis FODA. -Diseño de estrategias de aprovechamiento de recursos. -Localización de nodos de atracción y secuencia de la ruta. -Perfil del turista gastronómico. -Mix de marketing -Itinerario -Conclusiones -Referencias en formato APA 7	A partir de la información del documento y apoyados de Google Maps; los alumnos, orientados por el docente, diseñarán su propuesta de ruta turístico-gastronómica. La cual deberá integrar los siguientes elementos: -Nodos de atracción representados por iconos. -Información referente a los recursos turísticos, clasificados en naturales y culturales. -Información respecto a los recursos gastronómicos clasificados en ingredientes, platillos y bebidas. -Explicación de actividades por realizar. -Costos y tiempo de estancia en caso de aplicar. -Enlace gráfico entre nodos y opciones de traslado. Cada uno de los equipos desarrollará e integrará su propuesta en la Guía Interactiva para poder ser consultada por el cuerpo académico y emitir observaciones y la evaluación correspondiente, además de estar disponible para el resto de la comunidad estudiantil y el público en general.	Los alumnos proyectarán un video promocional de la ruta en un evento académico de fin de cursos con la intención de recibir observaciones por parte de los docentes de ambas UU.AA y ser evaluados de manera holística.

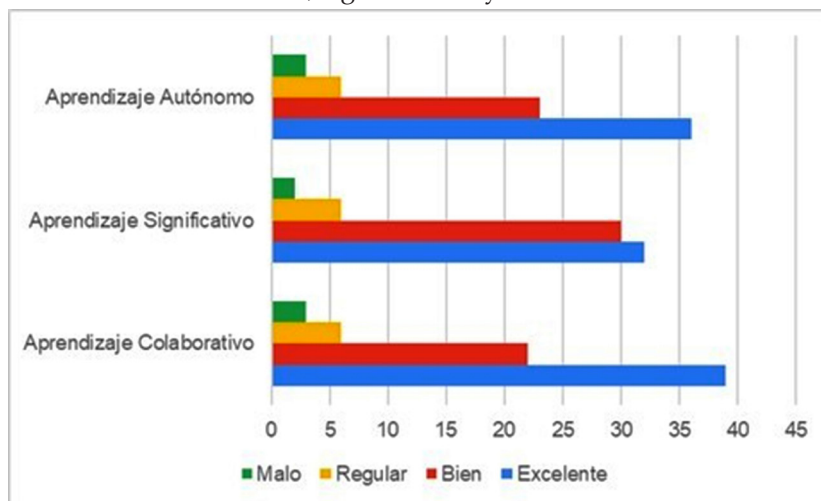
Fuente: elaboración propia, 2023.

Gráfica 5. Unidades de aprendizaje cumplieron y alcanzaron los objetivos



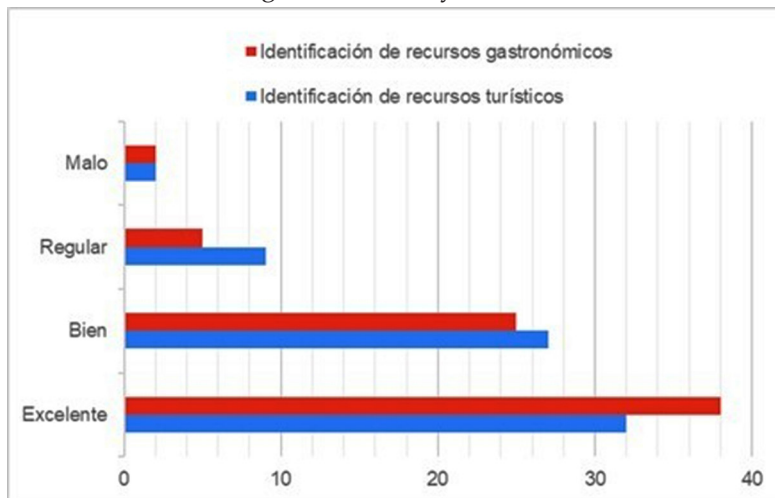
Fuente: elaboración propia, 2023.

Gráfica 6. Actividades realizadas por los estudiantes los aprendizajes autónomos, significativos y colaborativos



Fuente: elaboración propia, 2023.

Gráfica 7. Estudiantes identificaron problemas sobre recursos gastronómicos y turísticos



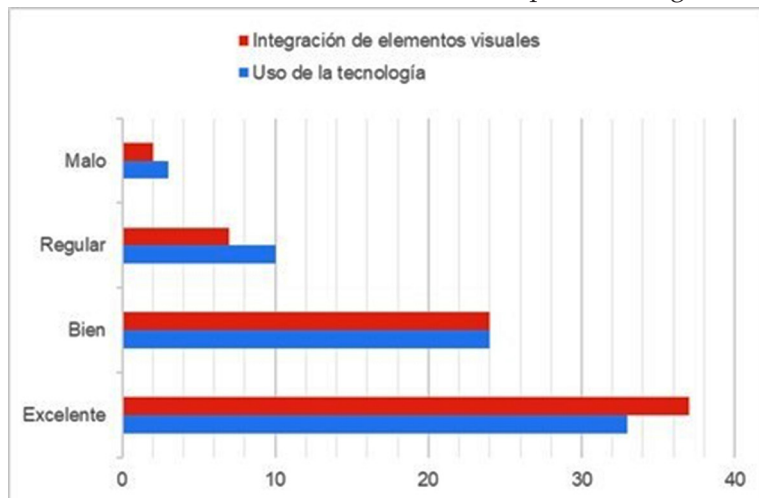
Fuente: elaboración propia, 2023.

Gráfica 8. Estudiantes resolvieron problemas sobre recursos gastronómicos y turísticos



Fuente: elaboración propia, 2023.

Gráfica 9. Estudiantes alcancen las competencias digitales



Fuente: elaboración propia, 2023.

Conclusión

Se considera que La “Guía Interactiva: Rutas y Sabores” representa una propuesta innovadora de proyecto colaborativo diseñado específicamente para entornos virtuales de aprendizaje enfocados en el perfil de los estudiantes de Gastronomía. Se resalta que, este recurso educativo no solo enriquece el proceso formativo mediante la integración de contenidos interactivos y experiencias sensoriales virtuales, sino que también promueve el trabajo en equipo como la colaboración entre los alumnos y docentes.

La importancia de este proyecto radica en su capacidad para utilizar herramientas tecnológicas avanzadas que facilitan el aprendizaje significativo. A través de este ejercicio pedagógico, los estudiantes pueden comprender, proponer, diseñar y explorar diversas rutas culinarias; descubrir una amplia gama de sabores locales y desarrollar competencias prácticas en un entorno seguro y accesible desde cualquier ubicación geográfica. Además de favorecer la posibilidad de simular escenarios reales del ámbito gastronómico que contribuyen de manera significativa a la comprensión y retención de conocimientos teóricos y prácticos.

Desde la perspectiva docente, la “Guía Interactiva: Rutas y Sabores” destaca como las tecnologías pueden ser utilizadas de manera efectiva para mejorar la calidad educativa. Al integrar plataformas digitales y recursos interactivos en el currículo académico, se responde a las exigencias contemporáneas del mundo profesional. Por lo que esta propuesta no solo enriquece la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, sino que también los prepara para enfren-

tar los desafíos de la industria gastronómica, haciéndolos más competitivos y versátiles en su futuro profesional.

Finalmente, la implementación de la “Guía Interactiva: Rutas y Sabores” como alternativa de proceso enseñanza-aprendizaje en el plan de estudios de la Licenciatura en Gastronomía, representa un avance significativo en la educación gastronómica. Al fomentar el aprendizaje colaborativo y uso de herramientas tecnológicas; esta propuesta no solo mejora la formación académica de los estudiantes, sino que también los equipa con las habilidades necesarias para sobresalir en un entorno profesional en constante evolución. Así, la guía se consolida como un recurso indispensable para la educación superior, marcando un precedente en la innovación educativa y en el aprovechamiento de las tecnologías en el aprendizaje.

Bibliografía

- Agencia digital de Andalucía. (2022). *Plataforma de autodiagnóstico en competencias digitales*. <https://evaluate.andaluciavuela.es/#no-back-button>
- Alpizar Domínguez, J. J. (2019). *¿De qué manera las nuevas tecnologías de la información (TICS) apoyan a la mejora de los aprendizajes en educación preescolar?*
- Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo. *Educación*. <https://www.eumed.net/rev/atlante/2019/02/tic-educacion-preescolar>.
- Carretero, S., Vuorikari, R., y Punie, Y. (2017). DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens. *Publications Office of the European Union*, May, 48. <https://doi.org/10.2760/38842>
- Chai, C., Tan, L., Deng, F. y Koh, J. (2017). Examining pre-service teachers' design capacities for webbased 21st century new culture of learning. *Australasian Journal Education Technology*, 33(2), 129-142. <https://doi.org/10.14742/ajet.3013>
- Conde Higuera, G., Cruz Solís, I., y García Arriaga, V. (2022). Habilidades de investigación en jóvenes universitarios. La era digital y el cambio de paradigma. *Diversidad Académica*, 1(2), 22-46. <https://diversidadacademica.uaemex.mx/article/view/17808>
- Facultad de Turismo y Gastronomía. (2023). *Plan de estudio. Proyecto curricular 2016*. Universidad Autónoma del Estado de México. <https://turismoygastronomia.uaemex.mx/oferta-educativa/licenciatura-en-gastronomia.html>
- Ferrari, A. (2023). DIGCOMP: A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in Europe, *Comisión Europea*. Centro común de investigación, Luxemburgo. <http://dx.doi.org/10.2788/52966>.
- Galvis, Á. (2020). Transformación educativa mediada con tecnología digital: oportunidad única de cara a la “nueva normalidad”. *Revista Innovaciones Educativas*, 22(Suppl. 1), 28-32. <https://dx.doi.org/10.22458/ie.v22iespecial.3156>

- García-Aretio, L. (2019). Necesidad de una educación digital en un mundo digital. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 22(2), 9-19. <https://www.redalyc.org/journal/3314/331460297001/331460297001.pdf>
- Muñiz, J. (2018). *Introducción a la Psicometría: Teoría Clásica y TRI*. Madrid: Pirámide.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Oviedo, C., y Campos-Arias, A., (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, vol. XXXIV, núm. 4, 2005, pp. 572-580. <https://www.redalyc.org/pdf/806/80634409.pdf>
- Riveros, E. (2014) La psicología humanista: sus orígenes y su significado en el mundo de la psicoterapia a medio siglo de existencia. *Revista Ajayu*. 12(2),135- 186. Recuperado de: <http://www.scielo.org.bo/pdf/rap/v12n2/v12n2a1.pdf>
- Ruiz-Velazco Sánchez, E. (2005). Ambientes virtuales de Aprendizaje Heurístico. *Tecnología y Comunicación Educativas*. <http://investigacion.ilce.edu.mx/tyce/40/art7.pdf>
- Santiago-Trujillo, Y. y Garvich-Ormeño, R. (2024). Competencias Digitales e Integración de las TIC en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 17(1), 50-65. <https://doi.org/10.37843/rted.v17i1.405>

Capítulo 11. Patrones espaciales de suicidios en México entre 2018 y 2023

CHRISTIAN SÁNCHEZ CARRILLO ¹

GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA ²

MARÍA DEL CARMEN GARDENIA JIMÉNEZ VELAZQUEZ ³

NOEL BONFILIO PINEDA JAIMES ⁴

Introducción

Las organizaciones de salud pública consideran al suicidio una prioridad cuya relevancia ha sido cada vez más reconocida (Too *et al.*, 2024). El suicidio constituye un fenómeno complejo que resulta de la interacción de múltiples factores psicológicos, biológicos, sociales, clínicos y ambientales (Bando *et al.*, 2023). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que 727,000 personas murieron por suicidio en 2021. El suicidio es la tercera causa principal de muerte entre las personas de 15 a 29 años; la segunda para las mujeres y la tercera para los hombres (OMS, 2023). Lo que evidencia la magnitud global de este problema de salud pública.

El suicidio se define como un acto autoinfligido mediante el cual una persona provoca de manera voluntaria su propia muerte; este proceso suele involucrar de forma sucesiva el deseo, la ideación y el acto suicida propiamente dicho (Nazima, 2011). La muerte por suicidio genera un profundo impacto psicológico en las familias y repercute negativamente en amplios sectores de la sociedad, extendiendo sus consecuencias más allá del individuo que lo consuma (Bando *et al.*, 2023).

En las últimas décadas, las cifras han aumentado tanto a nivel local como global, hasta convertirse en una de las veinte principales causas de muerte en el mundo (OMS, 2020). A nivel internacional, se observa que el número de suicidios es considerablemente mayor entre los hombres en los países de-

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

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

3 El Colegio Mexiquense A.C., México.

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

sarrollados; sin embargo, en los países en vías de desarrollo esta brecha de género tiende a reducirse aproximadamente a la mitad (Palma *et al.*, 2020).

Algunos países presentan niveles particularmente elevados de mortalidad por suicidio. Corea del Sur se ha registrado como el país con la mayor tasa entre los miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). En 2020 alcanzó una tasa de 24.6 muertes por suicidio en cada 100,000 habitantes, cifra que supera ampliamente el promedio de la OCDE, estimado 11.0 muertes por cada 100,000 habitantes (Kim y Kim, 2024). En Estados Unidos, el suicidio ocupa la segunda causa principal de muerte entre los jóvenes; porcentaje de adolescentes que han intentado suicidarse aumentó del 6.3 % al 8.9 % en tan solo una década (Tam *et al.*, 2025).

En América Latina, el suicidio figuró como una de las principales causas de muerte en 2019. Entre 1990 y 2019, el número de defunciones por esta causa se incrementó de manera significativa en la mayoría de los países de la región, destacando los aumentos observados en Paraguay (268.2 %), Ecuador (244.9 %) y México (188.9 %) (Ortiz *et al.*, 2023).

En México, el suicidio representa uno de los problemas de salud pública más alarmantes debido a que su incidencia se ha duplicado desde 1990 con un crecimiento particularmente marcado entre adolescentes y adultos jóvenes (Sánchez, 2022). Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la tasa de suicidios pasó de 6.2 en 2020 a 6.8 en 2023; por cada 100,000 habitantes (Comisión Nacional de Salud Mental y Adicciones, 2025).

Diversos estudios coinciden en que los suicidios se presentan con mayor frecuencia en hombres que en mujeres. En 2020, la tasa de suicidio en hombres fue de 10.5, mientras 2.2 en las mujeres por cada 100,000 habitantes; lo que confirma una marcada diferencia por sexo en la ocurrencia de este fenómeno (INEGI, 2020a).

El análisis territorial del suicidio ha permitido identificar estas diferencias no sólo a escala estatal, sino también al interior de las entidades federativas y áreas metropolitanas donde las tasas varían significativamente entre municipios o demarcaciones administrativas. Investigaciones realizadas en contextos urbanos como la Ciudad de México, evidencian que incluso dentro de una misma metrópoli existen contrastes espaciales importantes en la mortalidad por suicidio, asociados a condiciones socioeconómicas, disponibilidad de servicios y características demográficas locales (Sánchez, 2022).

Sin embargo, la magnitud demográfica del suicidio no se distribuye de manera homogénea en el territorio, sino que presenta patrones espaciales diferenciados que reflejan desigualdades sociales, económicas y territoriales. Diversos estudios han documentado que en México existen entidades federativas con tasas elevadas como Chihuahua, Aguascalientes y Yucatán; mientras que otras regiones mantienen niveles relativamente bajos, lo que muestra

la influencia del contexto geográfico en la ocurrencia de este fenómeno (Manzanares, 2019).

En términos generales, los hallazgos disponibles indican que el suicidio en México constituye un fenómeno estrechamente vinculado al territorio cuya distribución espacial se explica por la convergencia de factores sociales, económicos, culturales y ambientales característicos del contexto nacional (Manzanares, 2019). Bajo esta perspectiva, el análisis espacial adquiere un papel central al permitir la detección de zonas con mayor vulnerabilidad, así como la identificación de concentraciones territoriales del fenómeno. En consecuencia, este capítulo propone examinar los patrones espaciales del suicidio en México durante el período comprendido entre 2018 y 2023 con el fin de distinguir regiones con alta y baja de incidencia, mediante un enfoque descriptivo.

Marco teórico

El suicidio como problema de salud pública

Desde la perspectiva de la salud pública, el suicidio se entiende como un acto intencional que culmina en la pérdida de la vida y emerge de la relación de múltiples factores individuales, sociales, económicos, culturales y ambientales que actúan a lo largo del curso de vida (OMS, 2014). En este enfoque trascienden las interpretaciones centradas únicamente en el entorno individual, sitúa al suicidio como un fenómeno socialmente determinado, directamente relacionado con los determinantes sociales de la salud. En este sentido, el suicidio no solo puede entenderse de manera aislada, sino como una expresión de condiciones estructurales que influyen en las oportunidades de bienestar y en la vulnerabilidad de las poblaciones.

En relación con esta visión, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) subraya que el suicidio constituye una manifestación extrema de desigualdades sociales persistentes, procesos de exclusión y limitaciones en los sistemas de atención en salud mental. Por ello, para su análisis requiere estrategias integrales que articulen políticas públicas con un enfoque poblacional y territorial, capaces de atender tanto los factores de riesgo individuales como los contextuales (OPS, 2016). Desde esta perspectiva, el suicidio se reconoce como una problemática colectiva que puede ser prevenida y susceptible de intervención desde la salud pública.

A nivel mundial, el suicidio representa una de las principales causas de mortalidad prematura con una carga elevada de años de pérdida de vidas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de 700 000 personas fallecen anualmente por esta causa, lo que afecta de manera particular a adolescentes y adultos jóvenes (OMS, 2023). Si bien las tasas muestran importantes diferencias regionales, diversos estudios han documentado un

aumento sostenido en países de ingresos medios, incluidos varios de América Latina. Para el caso de México, la evidencia estadística revela una tendencia ascendente en las últimas décadas con incrementos significativos en las tasas nacionales y marcadas desigualdades de acuerdo con el sexo, origen y entidad federativa (INEGI, 2023). Investigaciones nacionales coinciden en señalar que constituye una causa relevante de pérdida de años de vida saludable, lo que refuerza su impacto en la salud poblacional y el desarrollo social del país (Borges *et al.*, 2010; Medina-Mora *et al.*, 2017).

Desde el campo de la salud pública, el suicidio es considerado un evento que puede ser prevenible y prioridad dentro de las políticas de salud mental. La evidencia empírica muestra que, en la mayoría de los casos, las personas que presentan conductas suicidas muestran previamente señales de riesgo identificables como trastornos mentales, consumo problemático de sustancias, crisis psicosociales o experiencias de violencia, lo que abre oportunidades puntuales para la intervención preventiva (Nock *et al.*, 2008); en respuesta, los organismos internacionales han promovido estrategias integrales orientadas a la reducción de esta problemática, el fortalecimiento de los servicios comunitarios de salud mental, la limitación del acceso a medios letales y el desarrollo de sistemas de vigilancia epidemiológica sólidos (OMS, 2014; OPS, 2021). En contextos caracterizados por desigualdades sociales y territoriales como es en México, estas acciones adquieren una importancia particular.

En este marco, el análisis territorial resulta indispensable para la prevención y el control del suicidio, dado que su ocurrencia no es homogénea en el espacio. Diversos estudios han documentado la presencia de concentraciones territoriales, que sugiere la influencia de factores contextuales compartidos en determinados entornos (Hawton y Williams, 2001). En México, los enfoques espaciales han permitido identificar regiones y municipios con tasas elevadas, asociadas a condiciones de marginación social, pobreza y acceso limitado a servicios de salud mental (Hernández-Bringas y Flores-Arenales, 2011; Fernández-Niño *et al.*, 2016). De este modo, la dimensión territorial se solidifica como un elemento clave para la focalización de intervenciones y la formulación de políticas públicas sustentadas en evidencia.

Geografía de la salud y epidemiología espacial

La geografía de la salud se caracteriza por contar con un campo interdisciplinario dedicado al estudio de las relaciones entre el espacio geográfico y los procesos de salud, enfermedad y atención. Desde esta perspectiva, el territorio se concibe como una construcción social dinámica en la que interactúan factores materiales, simbólicos y estructurales que influyen en los riesgos y oportunidades para la salud (Kearns y Moon, 2002; Cummins *et al.*, 2007). En América Latina, particularmente México, este enfoque es fundamental para visibilizar las desigualdades territoriales en los perfiles epidemiológicos; lo

que muestra que la pobreza, marginación y fragmentación territorial influyen en los resultados en salud, incluida la salud mental (Gómez-Dantés *et al.*, 2011).

En este contexto, la epidemiología espacial complementa este enfoque al aportar marcos teóricos y herramientas metodológicas orientadas al análisis de la distribución geográfica de los eventos de salud, incorporando la dimensión espacial en la investigación epidemiológica (Lawson, 2013). En el ámbito de la salud mental, esta aproximación ha permitido una comprensión integral de fenómenos complejos como el suicidio, al articular factores individuales con características del entorno social y físico; reconociendo el papel del contexto territorial en la ocurrencia de estos eventos (Rezaeian *et al.*, 2007).

El desarrollo y uso de Sistemas de Información Geográfica ha fortalecido de manera significativa el estudio del suicidio, al poder georreferenciar los casos, integrar diversas capas de información e identificar patrones y conglomerados espaciales (Cromley y McLafferty, 2012). En el contexto mexicano, la aplicación de estas herramientas contribuye a la identificación de territorios prioritarios y al análisis de la relación entre el suicidio y variables socioeconómicas; aportando insumos relevantes para la planeación territorial y toma de decisiones en salud pública (Hernández-Bringas y Flores-Arenales, 2011).

El enfoque espacial ofrece ventajas sustantivas para el análisis de las desigualdades territoriales ya que permite trabajar con unidades geográficas de menor escala y visibilizar microterritorios caracterizados por una alta vulnerabilidad social y riesgos en salud mental. Esta aproximación resulta especialmente pertinente para la asignación eficiente de recursos y diseño de intervenciones focalizadas en contextos de marcada heterogeneidad social (Diez y Mair, 2010).

Patrones espaciales en eventos de salud

Los patrones espaciales aluden a la forma en que los eventos de salud se distribuyen en el espacio geográfico y constituyen una herramienta principal para la salud pública. Su análisis permite identificar concentraciones inusuales y orientar estrategias de prevención y control (Cliff y Haggett, 2004). Estos patrones pueden clasificarse como aleatorios, dispersos o agrupados; entre ellos, los patrones agrupados o clústeres resultan particularmente relevantes en el estudio del suicidio, ya que suelen reflejar la presencia de factores de riesgo compartidos en determinados territorios (Kulldorff, 1997).

La identificación de estos factores depende en gran medida de la escala de análisis y unidad geográfica seleccionada. El problema de la unidad espacial modificable advierte que los resultados pueden variar de manera significativa de acuerdo con el nivel de agregación de los datos, lo que exige una interpretación detallada y metodológicamente informada de los hallazgos (Openshaw, 1984). En consecuencia, el análisis epidemiológico de los patrones espaciales

debe complementarse con un conocimiento profundo del contexto territorial, entendiendo los clústeres no solo como resultados estadísticos, sino como señales de alerta que remiten a procesos estructurales subyacentes como la desigualdad social, la exclusión y las barreras en el acceso a servicios de salud mental (Rezaeian *et al.*, 2007; Borges *et al.*, 2019).

Desde esta perspectiva, la evidencia acumulada demuestra que la ocurrencia del suicidio presenta una distribución territorial no aleatoria, caracterizada por la presencia de clústeres de alto riesgo identificables mediante técnicas de análisis espacial y espaciotemporal. Estudios recientes señalan que estos agrupamientos persisten incluso después de ajustar por variables sociodemográficas y pueden modificarse en respuesta a crisis sociales o sanitarias, lo que subraya la importancia de incorporar la dimensión territorial tanto en la vigilancia epidemiológica de la salud mental como en el diseño de estrategias preventivas focalizadas (Rehkopf y Bruckner, 2022; Chiavegatto Filho *et al.*, 2023; Santoro *et al.*, 2023; Marco *et al.*, 2024).

Metodología

Área de estudio

México es el décimo cuarto país más extenso del mundo, cuenta con una superficie cercana a los 2 millones de kilómetros cuadrados. En 2020 ocupó el décimo lugar entre los países más poblados del mundo (UNFPA, 2022) con una población estimada de 126,014,024 personas de los cuales el 51.2% son mujeres y el 48.8% hombres. La edad promedio es de 29 años (INEGI, 2020a). Geográficamente, está situado en América del Norte, colinda con Estados Unidos (norte), Guatemala y Belice (sureste), Océano Pacífico (oeste) y el Golfo de México (este). Administrativamente, se divide en 32 entidades federativas, cada una se integra por municipios y la Ciudad de México con 16 alcaldías; al 2020 sumaron 2 469 (INEGI, 2020b) (Figura 1).

Fuente de datos

Los registros de defunciones por suicidio se obtuvieron de las bases de datos de mortalidad de la Dirección General de Información en Salud (DGIS), administradas por la Secretaría de Salud (SS/DGIS, 2025). Los registros se filtraron por municipio y año de ocurrencia, así como por la causa básica de defunción. De acuerdo con la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-10). Se incluyeron los registros de defunciones clasificados como lesiones autoinfligidas intencionalmente, según la décima revisión de la CIE-10: X60–X84. Los datos de población se obtuvieron de la Conciliación Demográfica de 1950 a 2019 y de las Proyecciones

de la Población de México de 2020 a 2070, realizadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2023).

Figura 1. Entidades federativas y municipios de México



Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geoestadístico del INEGI, (2020b).

Análisis de Datos

El número de suicidios se calculó contando las muertes clasificadas bajo los códigos CIE-10: X60–X84 de cada municipio y año correspondientes. Las tasas brutas de suicidios se estimaron dividiendo el número de suicidios entre la población total y multiplicando el resultado por un factor de 100,000. Estas tasas reflejan la cantidad de suicidios ocurridos durante un año determinado por cada 100,000 habitantes (ecuación 1 cálculo de la tasa cruda de mortalidad por COVID-19).

$$\text{Tasa bruta de suicidios} = 100,000 * \frac{\text{Número de muertes por suicidio}}{\text{Población total}} \quad (1)$$

Análisis de autocorrelación espacial

Para identificar patrones espaciales de suicidios anuales, se empleó el índice de Moran local. Éste es un método de autocorrelación espacial que exami-

na cómo se distribuyen los valores de una variable en el espacio geográfico (Goodchild, 1986). A partir de una matriz de pesos espaciales basada en contigüidad (Queen), se calcula un índice de autocorrelación espacial entre la tasa de cada municipio y las tasas de sus municipios vecinos. Un valor positivo y estadísticamente significativo indica agrupamiento espacial de valores similares como tasas altas rodeadas de un promedio alto de tasas (hotspots) o bajas rodeadas de un promedio bajo de tasas (coldspots). Un valor negativo y significativo indica un patrón de dispersión, como tasas altas rodeadas de bajas o viceversa (*outliers* espaciales). Valores cercanos a cero sugieren ausencia de autocorrelación espacial local (Anselin *et al.*, 2006). El índice de Moran local parte de los indicadores locales de asociación espacial y se calcula de la siguiente manera (ecuación 2 cálculo del índice de Moran local).

$$I_i = (x_i - \bar{X}) \sum_{j=1}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \text{ en } j \neq i \quad (2)$$

Donde n es el total de municipios, x_i la tasa de suicidios en el municipio i , x_j la tasa de suicidios en otro municipio j , $\bar{X}$ la media de las tasas de suicidios y $w_{i,j}$ los elementos de la matriz de pesos W que une el municipio i con el j .

El procesamiento de datos se llevó a cabo en el entorno de desarrollo integrado *RStudio*, el análisis de autocorrelación se realizó en *GeoDa*™ versión 1.22 y los mapas se generaron en *QGIS* versión 3.28.

Resultados

Serie temporal de suicidios

Entre 2018 y 2023 la tasa bruta de suicidios en México osciló entre 5.19 y 6.77 por cada 100,000 habitantes. A pesar de la relativa estabilidad en las cifras, el comportamiento temporal no fue lineal. Entre 2019 y 2021 se observó una tendencia ascendente con un incremento moderado de 5.58 a 6.5 suicidios por cada 100,000 habitantes. Posteriormente, en 2022, la tasa disminuyó a 6.22 para luego presentar un nuevo incremento en 2023; alcanzando el valor más alto del período con 6.77 suicidios por cada 100,000 habitantes (Figura 2).

Distribución espacial de suicidios

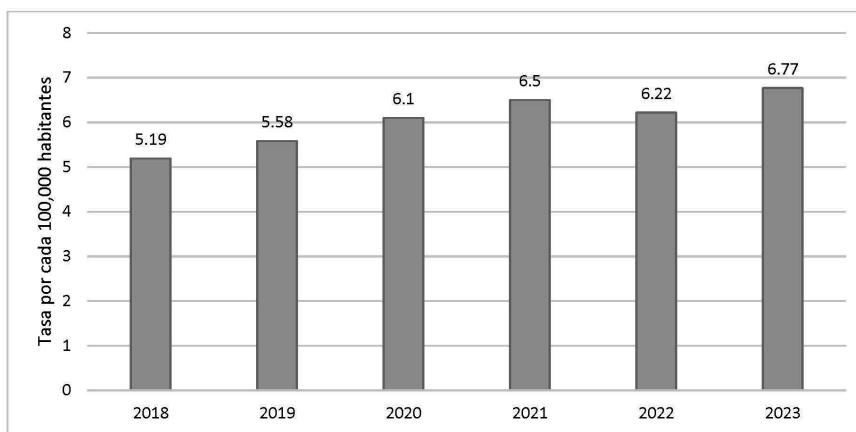
En 2018, las tasas altas de suicidios (<50 por cada 100,000 habitantes) se concentraron predominantemente en municipios ubicados en la frontera norte del país. En particular, en los estados de Chihuahua, Coahuila y Sonora. Los municipios de San Juan Teposcolula (Oaxaca), Coyame del Sotol y Maguari-chi (Chihuahua), Santa Marta de los Ángeles (Jalisco) así como Villa Hidalgo, Divisaderos y Cucurpe (Sonora) registraron las tasas más altas con valores

comprendidos entre 133.51 y 218.57 suicidios por cada 100,000 habitantes (Figura 3).

Durante 2019-2021, la distribución espacial de las tasas altas de suicidio se mantuvo concentradas en municipios de Chihuahua, Coahuila y Sonora. No obstante, se identificó un desplazamiento geográfico hacia el sur y noreste del país, con una mayor presencia de municipios altas en Oaxaca y la península de Yucatán. En Oaxaca, los municipios de Abejones, San Pedro Nopala, Sitio de Xitlapehua, San José Estancia Grande y Santos Reyes Tepejillo registraron valores que oscilaron entre 95 y 220 suicidios por cada 100 000 habitantes. Por su parte, en Yucatán, Cuncunul, Teya y Telchac Puerto presentaron tasas superiores a 50 suicidios por cada 100 000 habitantes (Figura 3).

Entre 2022 y 2023, la concentración de tasas altas persistió en municipios de Chihuahua y Sonora. Además, se observó una expansión hacia otros estados, destacando Yucatán. En particular, los municipios de Telchac Puerto y Tepakán registraron tasas que oscilaron entre 50 y 139 suicidios por cada 100 000 habitantes (Figura 2).

Gráfica 1. Tasa bruta de suicidios en México entre 2018 y 2023

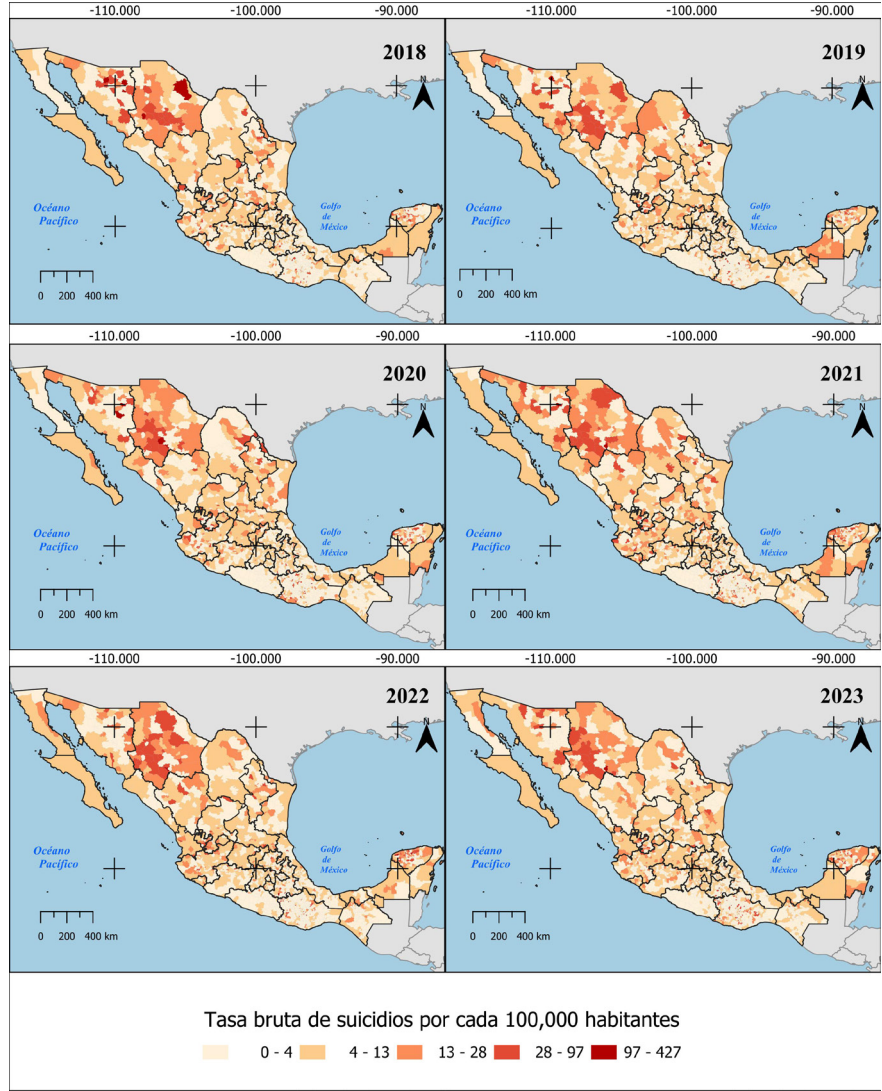


Fuente: elaboración propia con base en datos de la Dirección General de Información en Salud, (2025).

Patrones espaciales de suicidios

Entre 2018 y 2023, los clústeres Alto-Alto se localizaron de manera persistente en el noroeste y norte del país, configurando una región continua de alta incidencia relativa. Estos clústeres se concentraron principalmente en municipios de los estados de Sonora, Chihuahua y Durango con extensiones recurrentes hacia Baja California, Sinaloa y Zacatecas cuya presencia varió según el año analizado.

Figura 2. Distribución espacial de suicidios entre 2018 y 2023



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Dirección General de Información en Salud, (2025) y del Consejo Nacional de Población, (2023).

En 2018 y 2019, los clústeres Alto-Alto presentaron una configuración territorial claramente definida, particularmente en el norte de Sonora y Chihuahua. Para 2020, se observó una mayor continuidad espacial y una expansión hacia la región centro-norte, lo que sugiere una consolidación del patrón re-

gional. Durante 2021, si bien se registró una ligera contracción en su extensión, los clústeres permanecieron anclados en los mismos territorios, evidenciando una marcada persistencia espacial. Finalmente, en 2022 y 2023, estos clústeres continuaron presentes, aunque con variaciones en su intensidad y número de municipios involucrados, sin alterar su localización geográfica dominante.

En contraste, los clústeres Bajo-Bajo se distribuyen de forma consistente en el sur y sureste de México, abarcando amplias áreas de los estados de Oaxaca, Chiapas, Guerrero y Veracruz, así como municipios del sur de Puebla y sectores de la península de Yucatán. Desde 2018 hasta 2023, estos clústeres muestran una notable estabilidad tanto en su localización como en su extensión, configurando regiones donde las tasas de suicidio bajas se agrupan espacialmente. En 2020 y 2021 se observa una mayor continuidad territorial en el sur y sureste, mientras que en 2022 y 2023 estos clústeres se mantienen prácticamente sin cambios relevantes.

Los clústeres Alto-Bajo que identifican municipios con tasas elevadas de suicidio rodeados por municipios con valores bajos, aparecen de forma puntual y fragmentada a lo largo del período analizado. Estos clústeres se localizan principalmente en zonas de transición geográfica; específicamente en el centro y occidente del país, así como en algunos municipios aislados del sur. Su presencia es más evidente en años como 2019, 2020 y 2022 aunque no se confirman patrones regionales continuos.

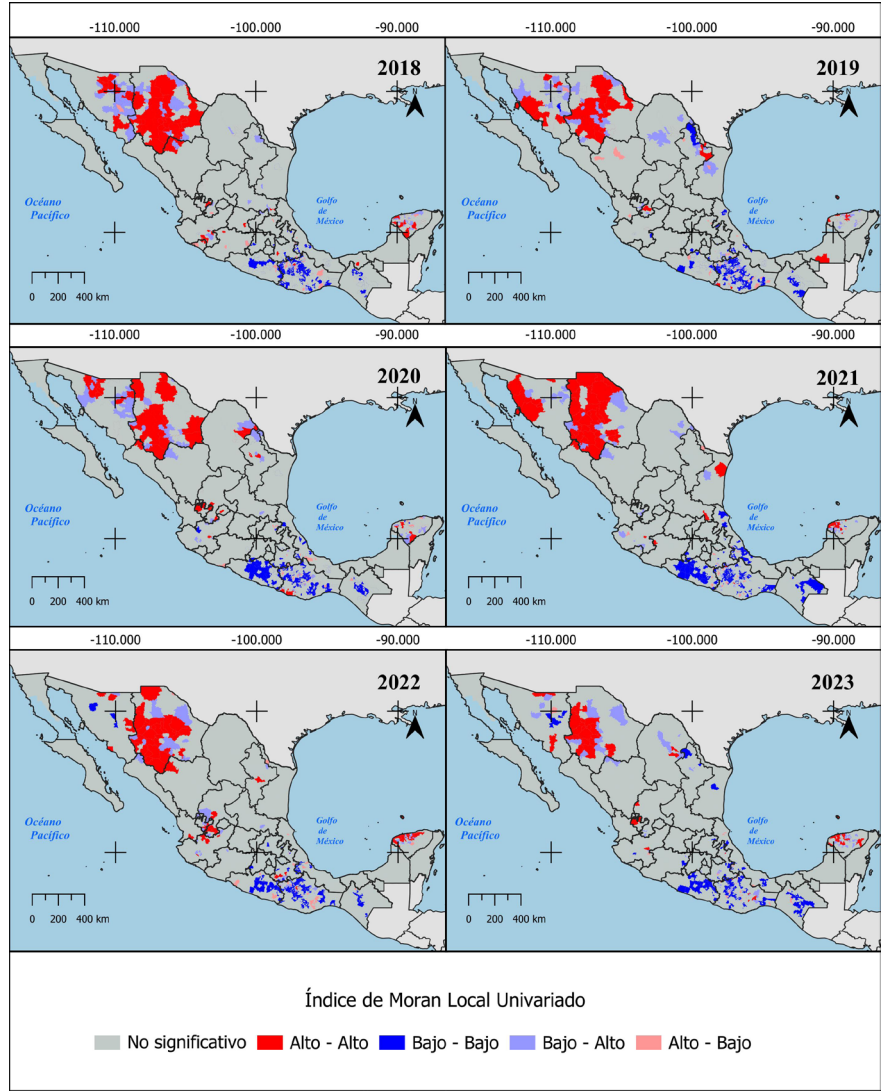
Los clústeres Bajo-Alto, caracterizados por municipios con tasas bajas rodeados por municipios con tasas altas, se identifican de manera esporádica, principalmente dentro de regiones del norte y centro-norte del país donde predominan los clústeres Alto-Alto. Estos clústeres aparecen de forma aislada en distintos años del período 2018-2023 y no muestran continuidad espacial ni temporal (Figura 3).

Conclusión

Los mapas muestran una distribución espacial heterogénea de la tasa bruta de suicidios en México entre 2018 y 2023 con patrones persistentes y cambios regionales a lo largo del tiempo. En todos los años analizados se observa que la mayoría del territorio nacional se concentra en categorías bajas y medias (0-4 y 4-13 por cada 100 000 habitantes), mientras que las tasas más elevadas (≥ 28 y especialmente ≥ 97) se agrupan en focos territoriales específicos.

De manera consistente, los municipios del norte del país (principalmente en Chihuahua, Sonora y Coahuila) presentan concentraciones recurrentes de tasas altas y muy altas, lo que sugiere la persistencia de condiciones estructurales o contextuales asociadas a una mayor mortalidad por suicidio. Este patrón se mantiene visible a lo largo de todo el período con variaciones en la intensidad y extensión de los municipios afectados.

Figura 3. Patrones espaciales de suicidios entre 2018 y 2023



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Dirección General de Información en Salud, (2025) y del Consejo Nacional de Población, (2023).

A partir de la aplicación del Índice de Moran Local a las tasas de suicidio a nivel municipal en México para el período 2018–2023, se identifican patrones espaciales consistentes y estadísticamente significativos.

En términos generales, los resultados muestran una clara concentración de clústeres Alto-Alto, principalmente en la región norte y noroeste del país, particularmente en entidades como Chihuahua, Sonora, Durango y zonas colindantes. Estos clústeres se mantienen de manera recurrente a lo largo de los años analizados, lo que sugiere una persistencia espacial del fenómeno en dichas regiones.

Por otro lado, se observan clústeres Bajo-Bajo de forma consistente en el sur y sureste de México, incluyendo municipios de Oaxaca, Chiapas, Guerrero y partes de Veracruz y la Península de Yucatán. Estas áreas presentan tasas relativamente bajas de suicidio; una fuerte dependencia espacial con municipios vecinos de características similares.

Los patrones Alto-Bajo y Bajo-Alto aparecen de manera más dispersa y en menor proporción. Estos municipios representan valores atípicos espaciales, es decir, municipios con tasas que contrastan con las de su entorno inmediato y tienden a variar entre años sin mostrar una localización fija.

En conjunto, los resultados del Índice de Moran Local muestran que el suicidio a nivel municipal en México presenta una distribución espacial no aleatoria altamente regionalizada. La persistencia de clústeres Alto-Alto en el norte y noroeste, así como de clústeres Bajo-Bajo en el sur y sureste, se mantiene a lo largo del período 2018-2023 mientras que los clústeres atípicos (Alto-Bajo y Bajo-Alto) aparecen de manera puntual y fragmentada.

Desde un enfoque geográfico, los resultados aportan evidencia de que el suicidio en México presenta una distribución espacial no aleatoria caracterizada por la presencia de agrupamientos territoriales persistentes a lo largo del período 2018-2023. Asimismo, el análisis espacial constituye una herramienta fundamental para la identificación de territorios prioritarios en salud mental, al permitir identificar regiones con alta incidencia de aquellas caracterizadas por patrones persistentemente bajos.

La persistencia de los clústeres Alto-Alto en el norte del país y la estabilidad de los clústeres Bajo-Bajo en el sur y sureste constituyen un sustento sólido para orientar políticas públicas diferenciadas y focalizadas al contexto local; contribuyendo así al diseño de estrategias más efectivas para la prevención del suicidio en México.

El análisis desarrollado permite identificar focos espaciales críticos como punto de partida para estudios futuros. Sin embargo, sería conveniente que las investigaciones posteriores incorporen análisis más detallados considerando grupos de edad y sexo, así como el uso de métodos de modelación espacial más avanzados que permitan explorar la interacción con variables socioeconómicas (por ejemplo, pobreza, desigualdad, estilos de vida, entre otras). Asimismo, la inclusión de la opinión de expertos en psicología y especialistas en salud pública podría aportar una comprensión más profunda de

los factores subyacentes del suicidio, contribuir a la validación de las metodologías empleadas y ofrecer recomendaciones más precisas y efectivas.

Bibliografía

- Bando, D. H., Souza, F. D. de, y Pisani, R. J. (2023). Tendências das taxas de suicídio nas microrregiões do Sul/Sudoeste de Minas Gerais, 2000 a 2020. *Caderno de Geografia*, 33(1), 68. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33nesp1p68>
- Borges, G., Medina-Mora, M. E., Orozco, R., Ouéda, C., y Villatoro, J. (2010). Suicide ideation and behavior in Mexico: National prevalence and correlates. *Journal of Affective Disorders*, 121(1–2), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2009.06.021>
- Borges, G., Orozco, R., Villatoro, J., Medina-Mora, M. E., Fleiz, C., y Díaz-Salazar, J. (2019). Suicide attempts in Mexico: Sociodemographic characteristics and trends. *Salud Pública de México*, 61(1), 16–24. <https://doi.org/10.21149/9655>
- Chiavegatto Filho, A. D. P., Wang, Y. P., Malik, A. M., Takaoka, J., y Viana, M. C. (2023). Geographical inequalities in suicide mortality in Brazil: A spatial and spatiotemporal analysis. *Social Science y Medicine*, 320, 115703. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2023.115703>
- Cliff, A. D., y Haggett, P. (2004). *Spatial aspects of disease*. Oxford University Press.
- Comisión Nacional de Salud Mental y Adicciones (2025). *Datos sobre el comportamiento suicida en México*. Secretaría de Salud.
- Consejo Nacional de Población. (2023). *Conciliación demográfica de México, 1950–2019 y proyecciones de la población de México, 2020–2070*. CONAPO. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/conciliacion-demografica-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico>
- Cromley, E. K., y McLafferty, S. L. (2012). *GIS and public health* (2nd ed.). Guilford Press.
- Cummins, S., Curtis, S., Diez Roux, A. V., y Macintyre, S. (2007). Understanding and representing place in health research: A relational approach. *Social Science y Medicine*, 65(9), 1825–1838. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2007.05.036>
- Diez Roux, A. V., y Mair, C. (2010). Neighborhoods and health. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1186(1), 125–145. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05333.x>
- Fernández-Niño, J. A., Astudillo-García, C. I. y Bojorquez-Chapela, I. (2016). Tendencias del suicidio en México, 1979–2012. *Salud Mental*, 39(4), 191–199. <https://doi.org/10.17711/SM.0185-3325.2016.023>
- Gómez-Dantés, O., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H., y Frenk, J. (2011). *Sistema de salud de México*. *Salud Pública de México*, 53(Suppl. 2), S220–S232.

- Goodchild, M. F. (1986). *Spatial autocorrelation* (CATMOG No. 47). Geo Books.
- Hawton, K., y Williams, K. (2001). The Papageno effect and suicide prevention. *British Journal of Psychiatry*, 178(5), 460–461. <https://doi.org/10.1192/bjp.178.5.460>
- Hernández-Bringas, H., y Flores-Arenales, R. (2011). El suicidio en México: Niveles, tendencias y diferencias regionales. *Papeles de Población*, 17(69), 69–101.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020a). *Censo de Población y Vivienda 2020: Resultados definitivos*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020b). *Marco Geoestadístico Nacional 2020*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Defunciones registradas en México 2022*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx>
- Kearns, R., y Moon, G. (2002). From medical to health geography: Novelty, place and theory after a decade of change. *Progress in Human Geography*, 26(5), 605–625. <https://doi.org/10.1191/0309132502ph389oa>
- Kim, S., y Kim, J. (2024). Spatially clustered patterns of suicide mortality rates in South Korea. *Revista científica BMC Public Health*.
- Kulldorff, M. (1997). A spatial scan statistic. *Communications in Statistics—Theory and Methods*, 26(6), 1481–1496. <https://doi.org/10.1080/03610929708831995>
- Lawson, A. B. (2013). *Bayesian disease mapping: Hierarchical modeling in spatial epidemiology* (2nd ed.). CRC Press.
- Manzanares Rivera, J. L. (2019). Evaluación temporal y distribución espacial del suicidio en México: una propuesta con base en análisis replicable de datos. *Seminario del Departamento de Estudios de Población*, El Colegio de la Frontera Norte (El COLEF).
- Marco, M., García-Alfaro, C., Roca-Barceló, A., y Gómez-Durán, E. L. (2024). Spatio-temporal trajectories of suicide-related emergency calls in an urban context. *BMC Public Health*, 24, 1186. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-18564-9>
- Medina-Mora, M. E., Borges, G., y Lara, C. (2017). Mental health and suicide in Mexico: Epidemiology and public health challenges. *Salud Pública de México*, 59(1), 1–4.
- Nizama Valladolid, Martín (2011). Suicidio. *Revista Peruana de Epidemiología*, ISSN-e 1609-7211, Vol. 15, No. 2, 2011.
- Nock, M. K., Borges, G., Bromet, E. J., Cha, C. B., Kessler, R. C., y Lee, S. (2008). Suicide epidemiology: A review. *Annual Review of Clinical Psychology*, 4, 343–369. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.4.022007.141247>

- Openshaw, S. (1984). *The modifiable areal unit problem*. Geo Books.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2021). *Suicidio*. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2014). *Preventing suicide: A global imperative*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Suicide worldwide in the 21st century*. OMS.
- Organización Panamericana de la Salud. (2016). *Prevención del suicidio: Un imperativo global*. OPS.
- Organización Panamericana de la Salud. (2021). *La salud mental en la región de las Américas*. OPS.
- Ortiz, P., et al. (2023). *Mortalidad y tendencias de defunciones por padecimientos específicos en las Américas*. Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Palma, et al. (2020). *Enfoques innovadores y brechas de género en el uso de tecnologías/educación*.
- Rehkopf, D. H., y Bruckner, T. A. (2022). The geography of suicide in the United States. *Annual Review of Public Health*, 43, 239–256. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-052020-103356>
- Rezaeian, M., Dunn, G., St Leger, S., y Appleby, L. (2007). Geographical epidemiology, spatial analysis and geographical information systems: A multidisciplinary glossary. *Journal of Epidemiology y Community Health*, 61(2), 98–102. <https://doi.org/10.1136/jech.2005.043117>
- Sánchez-Sosa, J. C. (2022). Salud mental en adolescentes y jóvenes: Tendencias y factores de riesgo. *Revista de Psicología Clínica con Niños y Adolescentes*, 9(3), 9-16.
- Santoro, G., Costa, G., Demaria, M., y Gnani, R. (2023). Spatial patterns of suicide mortality before and during the COVID-19 pandemic in Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4127. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054127>
- Secretaría de Salud, Dirección General de Información en Salud. (2025). *Bases de datos de defunciones por causas externas: Mortalidad por suicidio*. Secretaría de Salud. <https://www.gob.mx/salud/dgis>
- Tam, C. E., et al. (2025). The Youth Mental Health Crisis in the United States. *Pediatrics*, 156(5).
- Too, L. S., Shin, S., Mavoa, S., Law, P. C. F., Clapperton, A., Roberts, L., Arensman, E., Spittal, M. J., y Pirkis, J. (2024). High-risk suicide locations in Australia: A case-control study of public suicide sites. *JAMA Network Open*, 7(6), e2417770. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.17770>
- United Nations Population Fund. (2022). *UNFPA annual report 2022: A year of extremes*. UNFPA. <https://www.unfpa.org/annual-report-2022>

Reflexiones finales

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) y sus aplicaciones han experimentado un crecimiento exponencial, consolidándose como un campo indispensable dentro de los estudios geográficos contemporáneos. Más allá de ser herramientas de análisis y representación, las TIG han evolucionado de una operatividad técnica hacia un marco teórico multidisciplinario conocido como GIScience. Esta transición es fundamental, pues permite que el análisis espacial trascienda la visualización cartográfica para convertirse en una infraestructura crítica en la toma de decisiones estratégicas ante retos territoriales cada vez más complejos. Además, esta transformación de sistema a ciencia, no es solo semántica; representa un cambio de paradigma donde la capacidad técnica de procesar información georreferenciada se pone al servicio de la comprensión de una complejidad territorial cada vez más desafiante.

Uno de los aportes más significativos que se vislumbra a lo largo del texto es la capacidad de las nuevas metodologías para gestionar la incertidumbre. A través de la lógica borrosa y los modelos de vulnerabilidad difusa, se demuestra que el territorio no es un conjunto de categorías discretas, sino un gradiente continuo de procesos sociales y ambientales. Esta visión social de los datos permite que la toma de decisiones no sólo sea una imposición técnica fría, sino un análisis robusto que respeta la ambigüedad inherente a los fenómenos climáticos y territoriales.

La obra logra un equilibrio notable al abordar desde la morfología estructural de valles centroamericanos hasta los patrones de salud pública en México. Especialmente reveladora la identificación de clústeres de suicidio mediante el Índice de Moran, lo que nos recuerda que detrás de cada punto en un mapa existe una realidad social que demanda intervenciones urgentes y focalizadas. Asimismo, el libro rescata la importancia de la cartografía participativa, donde el paisaje deja de ser un objeto de estudio para convertirse en un recurso valorado por las comunidades locales en proyectos de turismo sostenible. Esta integración del saber local con la precisión técnica es, quizás, uno de los mayores éxitos de las aplicaciones emergentes actuales.

Un punto de inflexión necesario en estas reflexiones es el análisis de las neogeotecnologías y la inteligencia artificial generativa, la cual nos ofrece una lección de humildad académica pues el uso de la IAG no es solo una tendencia tecnológica, sino un recurso adaptativo ante las carencias del territorio. El

hecho de que la inteligencia artificial se convierta en una aliada frente al agotamiento crónico y los extenuantes tiempos de traslado en las periferias urbanas nos obliga a repensar la enseñanza de la geografía no como algo aislado, sino como algo profundamente conectado con las realidades sociodemográficas del alumnado. El análisis de los fideicomisos de inversión en bienes raíces y la huella del capital financiero en el mercado inmobiliario subraya que la tecnología también debe servir para transparentar las lógicas de acumulación desigual que configuran nuestras ciudades.

La geotecnología se presenta en esta obra como una plataforma de resiliencia y sostenibilidad. Asimismo, desde el uso de drones para mitigar riesgos viales hasta el monitoreo de cambios de uso de suelo mediante sensores satelitales, el objetivo final es siempre el mismo; proporcionar una base técnica sólida para el diseño de políticas públicas que protejan tanto el entorno natural como la infraestructura social.

En definitiva, los trabajos derivados de la XIX Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica aquí compilados, demuestran que el verdadero valor de la innovación geoespacial no reside en la complejidad del algoritmo, sino en su capacidad de traducción. Traducir datos masivos en diagnósticos claros y diagnósticos claros en acciones territoriales que aseguren una gestión más justa, resiliente y, sobre todo, humana. Esta obra no cierra una discusión, sino que abre una ventana crítica hacia el futuro de una geografía aplicada que entiende que, en el centro de cada mapa, siempre habita la sociedad.

*Aplicaciones emergentes de las Tecnologías de la
Información Geográfica ante los retos territoriales.*

Noel Bonfilio Pineda Jaimes,
Renata Juilliani Ruiz Gutiérrez,
Giovanna Santana Castañeda y
Marcela Virginia Santana Juárez
(Coordinadores)

se terminó de imprimir
el 27 de julio de 2026.

En la última década, las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) han trascendido su rol instrumental para consolidarse como el pilar de la ciencia de la información geográfica, una disciplina capaz de integrar el rigor técnico con la profundidad teórica necesaria para comprender el espacio contemporáneo. Esta obra, titulada "Aplicaciones emergentes de las tecnologías de la información geográfica ante los retos territoriales", reúne investigaciones de vanguardia que demuestran cómo la convergencia de los SIG, la teledetección y la modelación espacial avanzada permite abordar la complejidad de los territorios actuales. A través de un enfoque multidisciplinario, el texto posiciona a las geotecnologías no solo como herramientas de mapeo, sino como una infraestructura crítica para la toma de decisiones estratégicas en sectores tan diversos como la gestión de riesgos, el medio ambiente, la salud pública y el desarrollo socioeconómico.

A lo largo de sus páginas, el lector encontrará una síntesis rigurosa de innovaciones que abarcan desde el uso de lógica borrosa y drones para la mitigación de amenazas, hasta la irrupción de la inteligencia artificial generativa y las neogeotecnologías en la educación superior. Al vincular fenómenos como los patrones de salud pública, la huella del capital financiero y las realidades sociodemográficas, este libro establece un puente vital entre la investigación científica y el diseño de políticas públicas. En definitiva, esta obra constituye una invitación a repensar la gestión territorial, ofreciendo diagnósticos claros y soluciones resilientes que aspiran a construir un futuro más justo y genuinamente sostenible.

ISBN: 978-607-26949-5-8



9 786072 694958

Patrocinado por:



Comisión de Fomento
de las Actividades de las
Organizaciones de la Sociedad Civil

**Ciencia y
Tecnología**
Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

