

Delimitación y análisis territorial del sistema periurbano en la Zona Metropolitana de Xalapa (Veracruz, México): una aproximación multidimensional empleando Sistemas de Información Geográfica

Delimitation and territorial analysis of the peri-urban system in the Xalapa Metropolitan Area (Veracruz, Mexico): a multidimensional approach using Geographic Information Systems

Jorge Andrés Santander Espinosa,* Leonardo Daniel Rodríguez Hernández,**
Pedro Martínez Olivarez*** y Hugo López Rosas§

Recibido: 15/05/2025. Aceptado: 26/11/2025. Publicado: 13/01/2026.

Resumen. En México, el crecimiento urbano ha sido desorganizado y sin una planificación adecuada, como resultado de la expansión irregular asociada con la migración rural hacia las ciudades. Esto ha provocado cambios territoriales, dando lugar a un patrón inconsistente de uso del suelo y al deterioro de los recursos naturales y sociales. Los sistemas territoriales periurbanos (STPU) se caracterizan por una alta vulnerabilidad socioambiental y representan áreas de oportunidad, ya que actúan como reguladores físico-naturales a nivel local y regional, proporcionan productos agrícolas y facilitan el acceso a recursos económicos únicos o complementarios para sus habitantes. El objetivo de este estudio es delimitar espacialmente el STPU dentro de la Zona Metropolitana de Xalapa (ZMX) mediante la identificación

de sus componentes naturales, urbanos, físicos, sociales e institucionales a través del uso de sistemas de información geográfica. Se estableció que el criterio central para categorizar un territorio como periurbano era que su uso actual del suelo fuera agrícola. Los resultados sugieren que el STPU de la ZMX cubre 31 386 hectáreas, con 271 localidades y una población de 18 945 habitantes. Del total de usos de suelo en la ZMX, el 71.6 % se destina a actividades agrícolas. Por lo tanto, se esperaba que el área de STPU correspondiera a este porcentaje. No obstante, los resultados indican que solo el 28.9 % del área total de la ZMX cuenta con atributos de STPU. Aunque estos valores puedan sugerir una baja relevancia para el STPU, su fortalecimiento y permanencia representan una oportunidad significativa tanto a nivel local

* Estudiante del Programa de Doctorado en Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto 26, Zona Centro, Xalapa, 91000, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2385-0254>. Email: jasantandere.ddrs22@colver.info

** Investigador de Tiempo Completo. Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores Económicos y Sociales (IIESES). Avenida Dr. Luis Castelazo Ayala s/n, 91190, Xalapa, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9214-3225>. Email: leonarodriguez@uv.mx. Autor de correspondencia.

*** Profesor de Tiempo Completo. Universidad Veracruzana, Facultad de Arquitectura, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n. 91090, Xalapa, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4629-4975>. Email: pemartinez@uv.mx

§ Profesor Investigador de Tiempo Completo. El Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto 26, Zona Centro, Xalapa, 91000, Veracruz, México. Academia de Desarrollo Regional Sustentable. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8167-6675>. Email: hlopez@colver.edu.mx

como regional. Finalmente, los marcos regulatorios actuales de desarrollo ambiental y urbano indican que las tierras forestales, las áreas naturales protegidas, las tierras privadas y comunitarias destinadas a la conservación, las zonas restringidas por normativas ecológicas y las áreas federales no deberían destinarse a usos urbanos. Por lo tanto, 31 386 hectáreas del STPU son susceptibles de un cambio de uso agrícola a residencial a mediano y largo plazo. Además, la presencia de 79 núcleos ejidales en la ZMX es otro factor que aumenta la probabilidad de este cambio de uso del suelo.

Palabras clave: análisis territorial, desarrollo urbano, planificación urbana, políticas públicas, sistemas complejos.

Abstract. In Mexico, urban growth has been disorganized and without adequate planning, as a result of the irregular expansion associated with rural migration to cities. This has led to territorial changes, resulting in an inconsistent pattern of land use and the deterioration of natural and social resources. Peri-urban territorial systems (PUTS) are characterized by high socio-environmental vulnerability and represent areas of opportunity, as they act as physical-natural regulators at the local and regional levels, provide agricultural products, and facilitate access to unique or complementary economic resources for their inhabitants. The objective of this study is to spatially delimit the PTS

within the Xalapa Metropolitan Area (XMA) by identifying its natural, urban, physical, social, and institutional components through the use of geographic information systems. It was established that the central criterion for categorizing a territory as peri-urban was that its current land use was agricultural. The results suggest that the STPU of the ZMX covers 31,386 hectares, with 271 localities and a population of 18,945 inhabitants. Of the total land use in the ZMX, 71.6% is devoted to agricultural activities. Therefore, it was expected that the STPU area would correspond to this percentage. However, the results indicate that only 28.9% of the total area of the ZMX has STPU attributes. Although these values may suggest low relevance for STPU, its strengthening and permanence represent a significant opportunity at both the local and regional levels. Finally, current regulatory frameworks for environmental and urban development indicate that forest lands, protected natural areas, private and community lands designated for conservation, areas restricted by ecological regulations, and federal areas should not be used for urban purposes. Therefore, 31,386 hectares of the STPU are susceptible to a change from agricultural to residential use in the medium and long term. In addition, the presence of 79 ejido centers in the ZMX is another factor that increases the likelihood of this land use change.

Keywords: complex systems; territorial analysis, public policy, urban development, urban planning.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con lo expuesto por el Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat, 2019), el 79 % de la población en México habita en áreas urbanas y se prevé que esta proporción aumente hasta el 88 % en 2050. Este crecimiento demográfico, si no se acompaña de procesos adecuados de planificación, puede traducirse en alteraciones en las dinámicas territoriales, incremento en la demanda de recursos naturales y expansión de espacios destinados al uso habitacional. Diversos estudios han documentado que el crecimiento urbano no planificado tiende a agravar las condiciones de pobreza, desigualdad y vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos (Seto *et al.*, 2012; Barbosa *et al.*, 2022). Por lo anterior, resulta imperativo implementar procesos integrales de ordenamiento territorial.

El espacio se entiende como una superficie geográfica que presenta gradientes de variación en sus características físicas y socioeconómicas (Gómez Orea y Gómez Villarino, 2013). El territorio, por su parte, se comprende como un sistema dinámico

de gestión participativa compuesto por diversos actores del sistema público, social, económico, físico y natural, cuya conjunción caracteriza al sistema territorial (Figura 1).

Los sistemas territoriales se diferencian en urbanos y rurales según Gómez Orea y Gómez Villarino (2013). El sistema urbano comprende la ciudad consolidada, caracterizada por tener una alta densidad de población y donde predominan las actividades de los sectores secundario (industrial) y terciario (servicios). Por otro lado, el sistema rural se distingue por su baja densidad poblacional y la predominancia de actividades productivas primarias, tales como la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Además, cuenta con amplias extensiones de terreno y, por lo general, los servicios e infraestructura son limitados (Valencia *et al.*, 2019).

Marco teórico de los sistemas territoriales periurbanos

Además de estos sistemas, existe una franja intermedia urbano-rural llamada sistema territorial periurbano (STPU) que se distingue conceptualmente

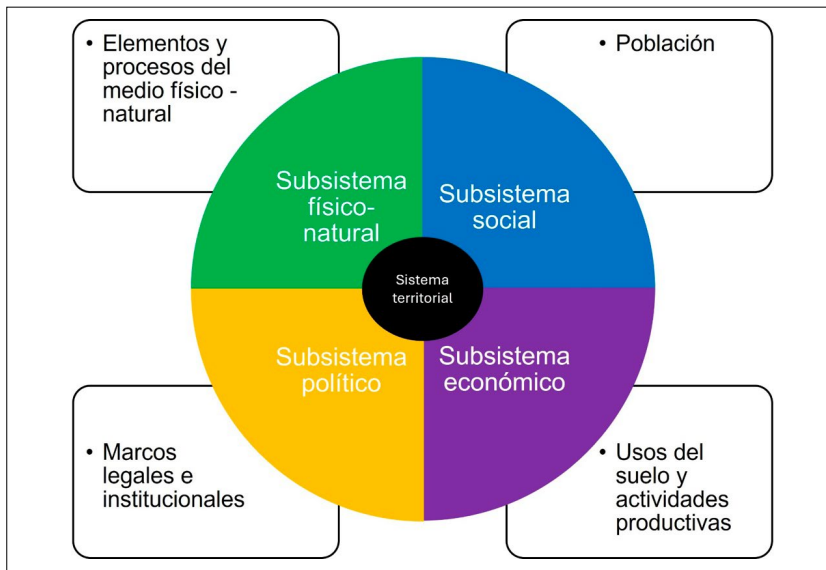


Figura 1. Modelo conceptual del sistema territorial y sus componentes interrelacionados. Fuente: elaboración propia con base en Gómez Orea y Gómez Villarino (2013)

de los “alrededores” de la ciudad porque presenta características híbridas específicas: coexistencia de usos agrícolas y urbanos, densidad poblacional intermedia y dinámicas de transformación acelerada.

La conceptualización teórica de estos espacios encuentra sus fundamentos en el paradigma desarrollado por McGee (1991), quien estableció que las zonas periurbanas son espacios de intensa mezcla de actividades agrícolas y no agrícolas que requieren análisis multidimensional para integrar aspectos demográficos, económicos, de infraestructura y de uso del suelo como criterios definitorios. Por su parte, Allen (2003) propuso que la interfaz periurbana representa una zona y espacio social de transición que debe entenderse como la intersección de tres sistemas: agrícola, urbano y de recursos naturales.

Los marcos teóricos contemporáneos, desarrollados por Follmann (2022) y Ravetz y Sahana (2025), han consolidado enfoques multidimensionales que operacionalizan cinco capas temáticas: social/demográfica, tecnológica/infraestructural, económica, ambiental/climática, y política/gobernanza. Esta evolución conceptual justifica explícitamente que la complejidad periurbana trasciende dicotomías rurales-urbanas simples y requiere enfoques sistémicos integradores.

En este sistema se producen procesos de urbanización dispersa debido a la expansión de la ciudad (metropolización), que se caracterizan

por el desplazamiento de población desde áreas rurales hacia áreas periurbanas que se asienta en terrenos que, previamente, habían sido utilizados para actividades agropecuarias. Como resultado, se establece una transición difusa entre el campo y la ciudad. La investigación reciente confirma que este tipo de sistemas territoriales constituyen uno de los principales focos de atención en el análisis territorial contemporáneo (Follmann, 2022; Hernández Puig, 2016).

La periurbanización tiene causas y fines distintos según el contexto de desarrollo. En países industrializados se presenta por dos razones principales: i) la descentralización de los sectores industrial y comercial hacia la periferia de las ciudades, y ii) el éxodo poblacional voluntario hacia el campo, como alternativa para mejorar la calidad de vida, desarrollo de actividades recreativas, turísticas o de esparcimiento (Barbosa *et al.*, 2022). En los países en desarrollo y en aquellos con altos índices de pobreza se observa un crecimiento acelerado y desorganizado de las ciudades (Barbosa *et al.*, 2022). En estos contextos, la periurbanización ocurre a través de procesos irregulares, que en ocasiones son ilegales, como la ocupación de áreas naturales protegidas. Tal fenómeno es resultado de múltiples factores, incluyendo la carencia de planificación urbana, el aumento de la población, la migración de zonas rurales a urbanas, la escasez

de viviendas asequibles en las áreas urbanas y la desigualdad económica presente en estas últimas (Barbosa *et al.*, 2022).

La política territorial lineal ciudad-campo ha excluido el STPU en los procesos de planificación, generando ineficiencia de políticas públicas en la atención de sus problemáticas y especificidades existentes (González-Arellano *et al.*, 2021), lo que conlleva riesgos y vulnerabilidades, así como el aumento de diferencias sociales y del deterioro ambiental.

Las principales características del STPU, identificadas consistentemente en la literatura internacional, son las siguientes: i) ocupación del territorio en continuo cambio; ii) explotaciones agrícolas a pequeña escala (como consecuencia del incremento de valor de la tierra previo a un desarrollo urbano); iii) producción agrícola intensiva (por tener la demanda asegurada); iv) población móvil y de baja o moderada densidad; v) rápida expansión residencial (representando el área de mayor crecimiento de la ciudad); vi) patrón heterogéneo de ocupación; vii) frecuentes operaciones especulativas de edificación; viii) dotación de servicios y equipamientos públicos incompleta, y ix) incremento de los conflictos sociales y del deterioro ambiental (Hernández Puig, 2016; Rajendran *et al.*, 2024).

Contexto mexicano y justificación para el caso de estudio

En México, el patrón de periurbanización es similar al observado en otros países en desarrollo (González-Arellano *et al.*, 2021). Y se manifiesta también en la Zona Metropolitana de Xalapa (ZMX), en el estado de Veracruz, delimitada oficialmente por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023). La ZMX comprende municipios centrales, donde se localiza la ciudad principal, y municipios exteriores contiguos que, si bien no se encuentran completamente conurbados, mantienen un elevado grado de integración funcional y laboral con los primeros.

Durante las últimas tres décadas, la búsqueda de mejores condiciones de vida y la limitada disponibilidad de oportunidades locales han impulsado un

proceso acelerado de crecimiento metropolitano, asociado principalmente a la migración rural-urbana. En la actualidad, la ZMX agrupa cuatro municipios centrales y seis municipios exteriores (SEDATU, 2022), situación que ha derivado en la proliferación de asentamientos humanos en territorios periurbanos sin una adecuada planificación (González-Arellano *et al.*, 2021; Rajendran *et al.*, 2024).

A inicio de la década de los noventa, el aumento del STPU en la ZMX se debió a fuertes procesos migratorios desde los municipios de Banderilla, Jilotepec, Naolinco, Coatepec, Actopan, Emiliano Zapata, Tlalnelhuayocan, Tepetlán, Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Xico, Teocelo y Cosautlán de Carvajal, donde la ocupación se produjo a expensas de zonas rurales ejidales, sobre bosques y cultivos tradicionales de café, naranja y plátano y humedales que se fueron sumando a la mancha urbana creciente, utilizándose también espacios para la ganadería lechera (Benítez, 2011; Morales Hernández, 2014).

Como resultado de esta situación, en la ZMX se evidencia una distribución desigual de recursos y servicios, así como la falta de estos en ciertas áreas o colonias. Entre los impactos acumulativos que se manifiestan en esta región se encuentran la limitada disponibilidad de agua, una elevada vulnerabilidad ante fenómenos climáticos extremos y un incremento en los conflictos sociales. Asimismo, se presentan presiones socioambientales derivadas de actividades irregulares, tales como la sustitución de la vegetación nativa, la extracción de agua y la gestión inadecuada de residuos sólidos y aguas residuales (Benítez Badillo *et al.*, 2011).

Sin embargo, el STPU debe ser considerado como un área de oportunidad, ya que desempeña un papel crucial en la regulación ambiental de los sistemas urbanos mediante procesos de transición socio-ecológica (González-Arellano *et al.*, 2021). Este sistema proporciona servicios ambientales a las ciudades, contribuye al mantenimiento de la biodiversidad tanto local como regional, y participa en la soberanía alimentaria a través de la agricultura urbana y periurbana. Asimismo, colabora en el cierre de ciclos de metabolismo urbano. Aprovechar las características del STPU podría contribuir

a establecer un contexto de sustentabilidad regional en la creación de ciudades y espacios sustentables (ONU, 2015).

Para comprender las dinámicas del STPU es necesario abordar los sistemas territoriales como un conjunto de relaciones en constante cambio y desarrollo, adoptando un enfoque integrador que permita articular iniciativas y sectores productivos tanto internos como externos, mediante la integración de diversos subsistemas (Villatoro, 2017). En este sentido, es necesario promover un modelo de urbanización sostenible que favorezca no solo la gestión eficiente de las ciudades, sino también su equilibrio con áreas rurales y zonas de alto valor ambiental desde una perspectiva de ordenamiento territorial.

La falta de políticas urbanas coherentes y coordinadas entre los distintos niveles de gobierno y sectores de desarrollo puede agravar el déficit de infraestructura urbana, servicios y equipamientos, generar una oferta de vivienda insuficiente o precaria, propiciar la fragmentación de sistemas de transporte público y dar lugar a un uso ineficiente de energía y recursos, además de intensificar la segregación socioespacial y otros problemas que afectan la prosperidad de quienes habitan el STPU (ONU-Hábitat, 2019). En consecuencia, se subraya la importancia de la planificación urbana y

periurbana como fundamentos del ordenamiento territorial a largo plazo.

En este contexto, el objetivo de este estudio es delimitar y definir espacialmente el Sistema Territorial Periurbano (STPU) de la Zona Metropolitana de Xalapa (ZMX), a partir de la identificación de sus componentes naturales, urbanos, físicos, sociales e institucionales, mediante el uso de sistemas de información geográfica, así como caracterizar sus dinámicas y problemáticas específicas desde una perspectiva socioeconómica e institucional.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La Zona Metropolitana de Xalapa (ZMX) constituye una de las siete zonas metropolitanas de Veracruz. Se localiza entre las coordenadas 19°43'30''–19°21'30'' N y 96°35'00''–97°8'00'' O, con altitudes que oscilan entre 120 m s. n. m. en Emiliano Zapata y 4200 m s. n. m. en Xico, cerca del Cofre de Perote. Su superficie es de 1187.04 km² distribuidos en diez municipios (Tabla 1, Figura 2), con una población de 798 858 habitantes asentados en 765 localidades, de las cuales 23 son urbanas (con población igual o mayor a 2500 habitantes

Tabla 1. Evolución demográfica (1990–2020) en los municipios de la Zona Metropolitana de Xalapa.

Municipio	Superficie (km ²)	Número de habitantes			
		1990	2000	2010	2020
Acajete	97.5	6173	7514	8223	9701
Banderilla	19.8	22 110	16 433	21 546	25 993
Coacoatzintla	43.9	5407	7301	9416	11018
Coatepec	202.3	61 793	73 536	86 696	93 911
Emiliano Zapata	415.8	36 370	44 580	61 718	85 489
Xalapa	124.6	288 454	390 590	457 928	488 531
Xico	179.0	24 162	28 762	35 188	39 623
Jilotepec	56.3	11 540	13 025	15 313	16 585
Rafael Lucio	11.5	4309	5342	7023	8343
Tlalnelhuayocan	36.7	6963	11 484	16 311	19 664
Total	1187.04	467 281	598 567	719 362	798 858

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2022) y SEDATU *et al.* (2023).

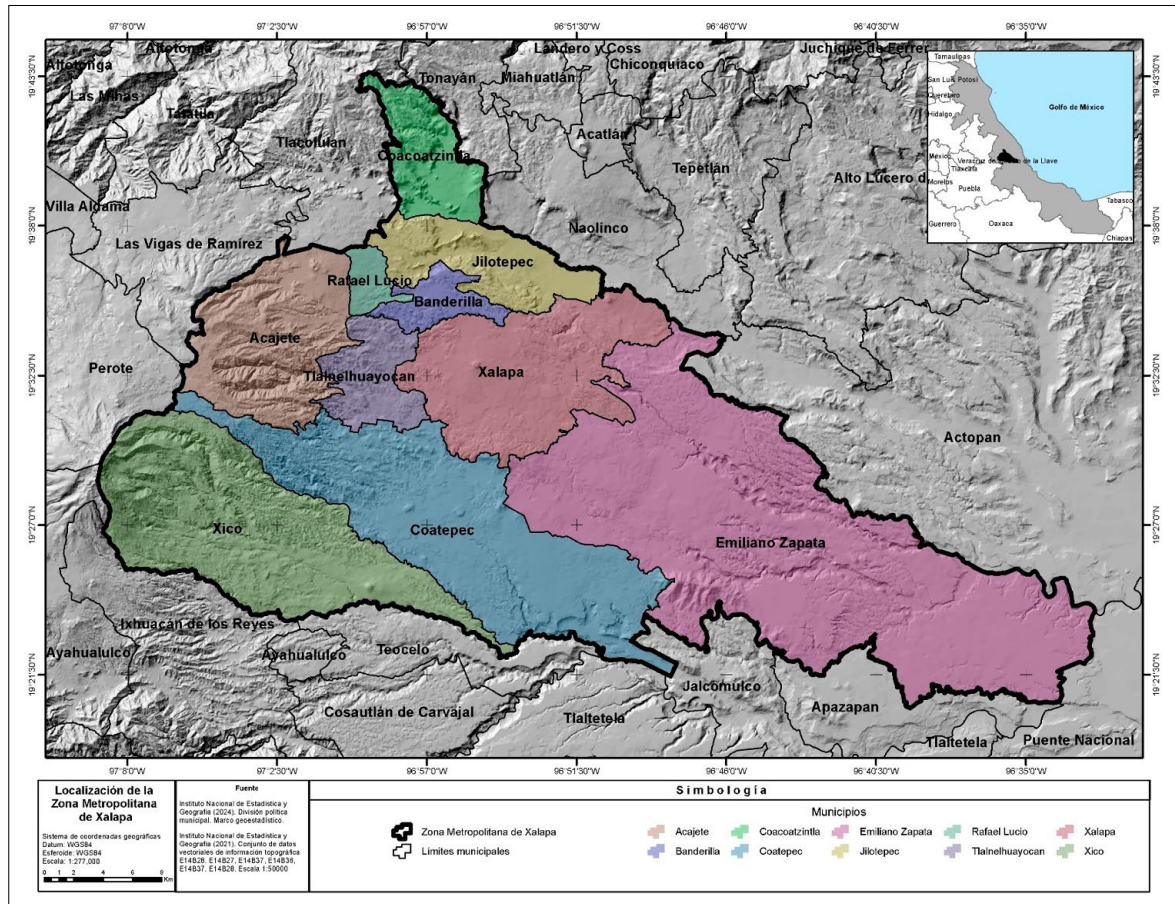


Figura 2. Localización de la Zona Metropolitana de Xalapa y sus municipios integrantes. Fuente: elaboración propia.

según criterios del INEGI) y 742 rurales (con población menor a 2500 habitantes) (INEGI, 2022; SEDATU *et al.*, 2023).

La actualización vigente de la ZMX, correspondiente a 2020, abarca diez municipios, con una extensión de 1187.04 km² y una población de 798 858 habitantes (SEDATU *et al.*, 2023). Al contrastar estos datos con los de la primera delimitación de la ZMX en 2005 (SEDATU *et al.*, 2005), que incluía únicamente siete municipios, una superficie de 867 km² y una población de 595 043 habitantes, se observa un incremento significativo en superficie y población en un periodo de 15 años. Estas cifras concuerdan con las proyecciones realizadas para México por ONU-Hábitat (2017), las cuales indicaban que, para 2020, aproximadamente el

79 % de la población nacional residiría en áreas urbanas. La delimitación establecida indica que la ZMX se compone de cuatro municipios centrales y seis municipios exteriores (periféricos). En general, los municipios centrales de cualquier zona metropolitana enfrentan mayor presión para la expansión urbana en terrenos previamente destinados a actividades agropecuarias (Pribadi y Pauleit, 2015).

Enfoque metodológico y criterios de delimitación del STPU

La delimitación del Sistema Territorial Periurbano (STPU) se realizó bajo un enfoque multi-dimensional (Allen, 2003; González-Arellano *et al.*, 2021), integrando dimensiones natural, urbana, física, social e institucional (Tablas 2 y

Tabla 2. Insumos geoespaciales utilizados para la delimitación del STPU.

Insumo	Tipo	Escala	Fuente
Imágenes multiespectrales Landsat 9	Raster	30 m	U.S. Geological Survey (2023).
Cartas topográficas: E14B26, E14B27, E14B28, E14B36, E14B37, E14B38	Vector	1:50 000	INEGI (2021)
Red hidrológica 2.0	Vector	1:50 000	INEGI (2010)
Cuerpos de Agua	Vector	1:50 000	INEGI (2016)
Zona de tierras parceladas por entidad federativa	Vector	N/A	R. A. N (2024 ^a)
Áreas de uso común por entidad federativa	Vector	N/A	R. A. N. (2024b)
Área geoestadística básica urbana	Vector	1:250 000	INEGI (2019 ^a)
Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial Regional de la Región Capital de Xalapa	Vector	N/A	SEDEMA (2024a)
Áreas Naturales Protegidas Federales de México, enero 2024	Vector	N/A	CONANP (2024)
Espacios Naturales Protegidos	Vector	N/A	SEDEMA (2024b)
Áreas destinadas voluntariamente a la conservación, agosto 2022	Vector	N/A	CONANP (2023)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Componentes, variables e indicadores empleados en la modelación del STPU por dimensión analítica.

Sistema	Componente	Variable	Indicadores
Natural	Ecosistemas naturales	Tipos de vegetación	Vegetación natural
Urbano	Uso de suelo urbano	Entorno urbano	Áreas urbanas AGEB** Manzanas urbanas
Físico	Topografía	Pendiente	Áreas de pendiente <35 %
	Hidrología	Cuerpos de agua Corrientes de agua	Cuerpos de agua con delimitación de zona federal* Corrientes de agua permanentes e intermitentes con delimitación de zona federal*
Social	Tenencia de la tierra	Propiedad social	Parcelas ejidales Áreas de uso común ejidales
Institucional	Instrumentos legales	Medio ambiente Desarrollo urbano	Ordenamiento Ecológico Territorial Áreas Naturales Protegidas Federales, estatales, municipales, comunitarias y destinadas voluntariamente a la conservación Ordenamiento Urbano de la zona conurbada Xalapa, Banderilla, Emiliano Zapata y Tlanelhuayocan Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Xalapa

*Franjas de diez metros de ancho contiguas al cauce de las corrientes (D. O. F., 1992).

**Área geográfica que corresponde a la subdivisión de las Áreas Geoestadísticas Municipales (AGEM), cuyos límites son trazados con base en rasgos físicos naturales (ríos, lagos, arroyos, cerros, etc.) o culturales (calles, brechas, carreteras, líneas telegráficas, etc.) para su fácil identificación en campo. Constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional. Dependiendo de sus características, se clasifican en dos tipos: Área Geoestadística Básica Urbana y Área Geoestadística Básica Rural (INEGI, 2019b).

Fuente: elaboración propia.

3). Esta perspectiva responde a la crítica de que los análisis previos suelen fragmentar la explicación de los sistemas territoriales, limitando su replicabilidad.

Criterios operativos de delimitación. Para que un área sea clasificada como STPU debe cumplir simultáneamente con los siguientes criterios: a) *uso de suelo*: presencia de usos agrícolas/pecuarios o zonas de transición identificadas mediante clasificación supervisada, excluyendo áreas urbanas consolidadas (AGEB urbanas) y formaciones vegetales naturales (bosques, selvas); b) *pendiente*: inferior o igual al 35 %, criterio que determina la aptitud para urbanización según Gómez Orea y Gómez Villarino (2013); c) *exclusiones normativas*: áreas fuera de zonas federales de cuerpos de agua (buffer de 10 m, según DOF, 1992), áreas naturales protegidas de cualquier nivel, y polígonos con restricciones de uso según ordenamientos ecológicos vigentes; d) *propiedad social*: la presencia de parcelas ejidales o áreas de uso común ejidales se consideró como indicador de vulnerabilidad al cambio de uso de suelo, dado que la tenencia ejidal ha mostrado mayor susceptibilidad a la conversión hacia usos urbanos tras las reformas agrarias de 1992; e) *Índice Compuesto de Antropización (ICA)*: valores intermedios que indican transformación antrópica moderada, diferenciándose de áreas urbanas consolidadas (ICA alto) y áreas naturales (ICA bajo).

El procesamiento de la información se efectuó en ArcMap 10.6 (ESRI, 2015) siguiendo un diagrama de flujo estandarizado (Figura 3), lo que garantiza la trazabilidad de los procedimientos. La integración de capas se realizó mediante álgebra de mapas, donde cada criterio actuó como filtro sucesivo para delimitar el área final del STPU.

Uso de suelo y vegetación

Se emplearon imágenes Landsat 9 nivel 2 (OLI, Path 025/Row 046, 27 de marzo de 2022), obtenidas de Earth Explorer (USGS, 2023). Para la clasificación de uso de suelo y vegetación se aplicó clasificación supervisada mediante el algoritmo de Máxima Verosimilitud (MLC), con campos de entrenamiento seleccionados a partir del Inventario Estatal Forestal y de Suelos (SEMARNAT, 2014).

Este insumo permite distinguir hasta once categorías: bosques mesófilos, bosques de coníferas, bosques de encino, bosques de pino-encino, selva alta, selva mediana subperennifolia, selva baja

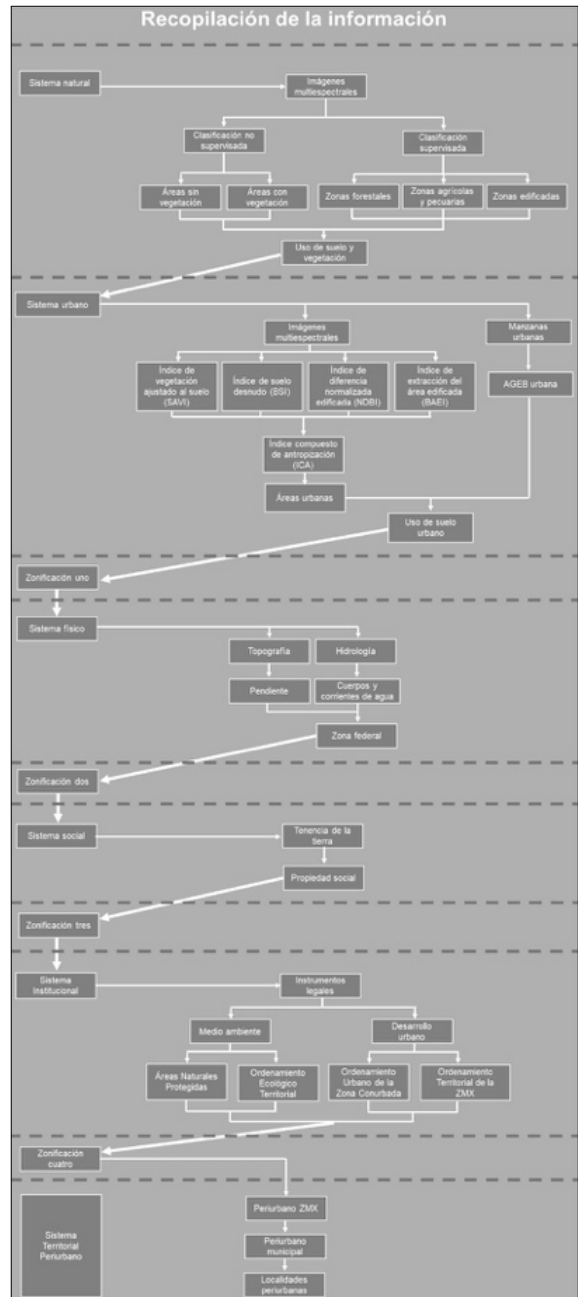


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso metodológico para la delimitación del STPU. Fuente: elaboración propia.

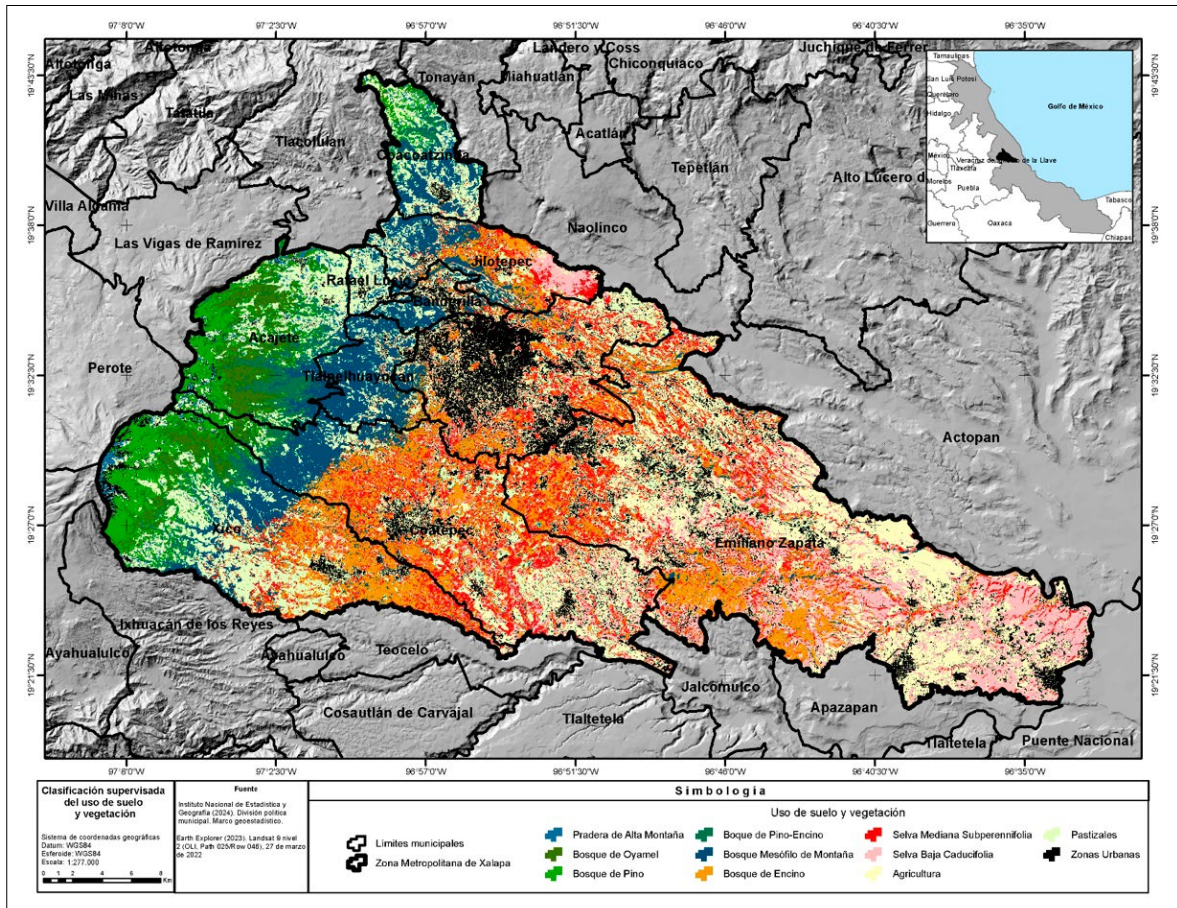


Figura 4. Clasificación supervisada del uso de suelo y vegetación en la ZMX. Fuente: elaboración propia con imágenes Landsat 9.

caducifolia, praderas de alta montaña, zonas urbanas, zonas agrícolas y zonas pecuarias (Figura 4), posteriormente reagrupadas en tres clases analíticas para la delimitación del STPU: forestales, agrícolas/pecuarias y urbanas (Figura 5).

La reclasificación temática en tres categorías responde a la necesidad de operacionalizar los criterios de delimitación del STPU: las áreas forestales fueron excluidas por constituir formaciones naturales protegidas o con valor ecosistémico; las áreas urbanas consolidadas fueron excluidas por no presentar características de transición, y las áreas agrícolas/pecuarias constituyeron la base espacial sobre la cual se aplicaron los criterios adicionales (pendiente, exclusiones normativas, propiedad social, ICA). Los resultados fueron validados con

fotointerpretación y cartografía temática (INEGI, 2019b; Figura 6).

Índices espectrales e Índice Compuesto de Antropización (ICA)

Con el propósito de caracterizar la transformación antrópica, se calcularon cuatro índices espectrales (Figura 7): SAVI para corregir el efecto del suelo desnudo en áreas de baja densidad vegetal (Hidayati *et al.*, 2018); BSI para diferenciar suelos desnudos de edificaciones (Nguyen *et al.*, 2021); NDBI para identificar áreas urbanizadas (Kebede *et al.*, 2022), y BAEI para mejorar la detección de acumulación de superficies construidas (Lynch *et al.*, 2020).

De ellos se derivó un Índice Compuesto de Antropización (ICA), formulado como:

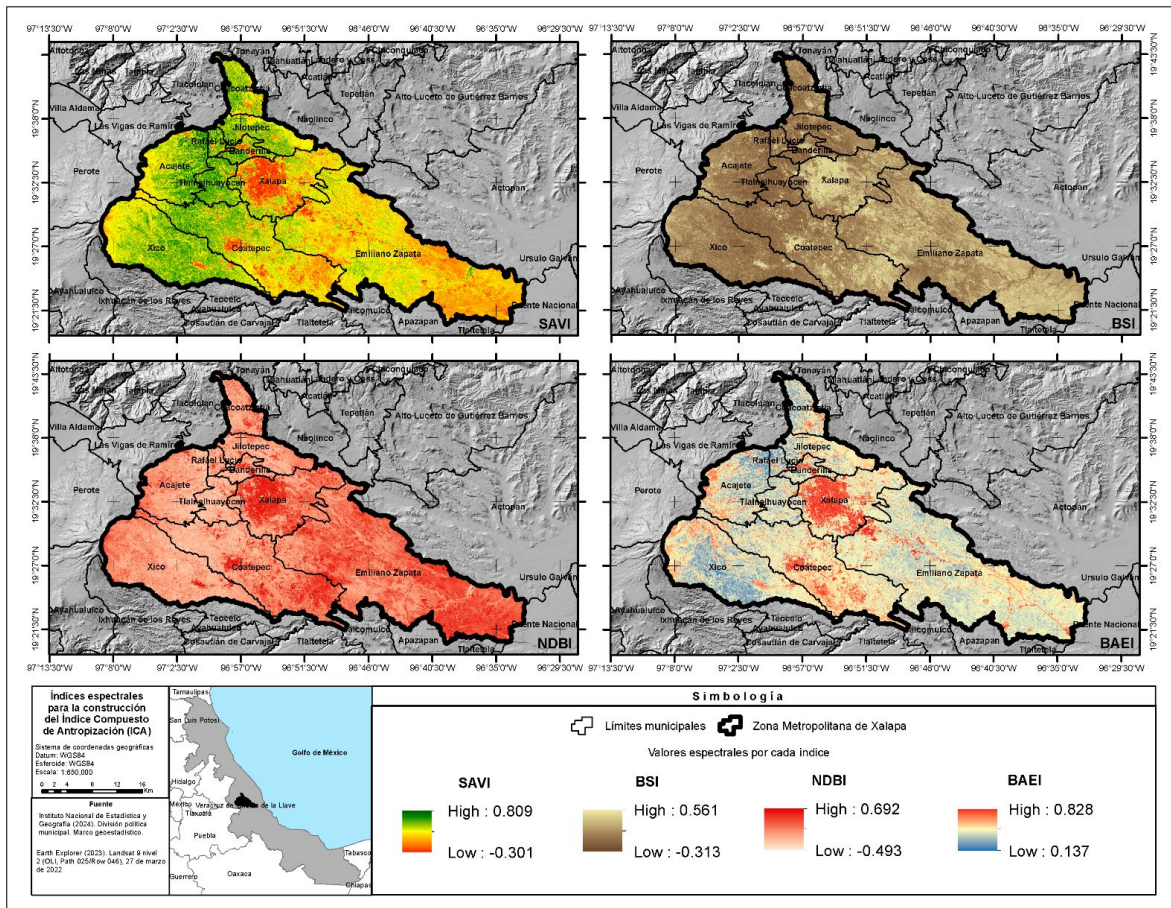


Figura 6. Índices espectrales empleados para la construcción del Índice Compuesto de Antropización (ICA). Fuente: elaboración propia.

nes demográficas, culturales y organizativas que no fueron capturadas en la delimitación espacial. La propiedad ejidal se incluyó específicamente como indicador de vulnerabilidad territorial al cambio de uso de suelo, dado el papel que ha jugado en la expansión urbana en México tras las reformas al Artículo 27 constitucional de 1992.

Sistema institucional: se integraron instrumentos normativos de ordenamiento ecológico y territorial (SEDEMA, 2024a; SEDATU, 2022) y áreas naturales protegidas federales, estatales, municipales y comunitarias (CONANP, 2023, 2024).

Sistema urbano: el sistema urbano se operacionalizó mediante las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas del INEGI (2019a), que delimitan las zonas urbanas consolidadas. Esta simplificación

reconoce que el sistema urbano es más complejo e incluye infraestructuras, dinámicas económicas y flujos de movilidad que trascienden la mera superficie edificada, pero que para efectos de delimitación espacial del STPU, la distinción urbano/no-urbano basada en AGEB resulta operativamente válida.

Verificación y replicabilidad

Para garantizar la replicabilidad metodológica, se realizaron los siguientes procedimientos de verificación: a) *exactitud de las clasificaciones*: se aplicó validación cruzada con 250 puntos de verificación distribuidos aleatoriamente, alcanzando una exactitud global del 86 % en la clasificación supervisada; b) *validación del ICA*: se compararon

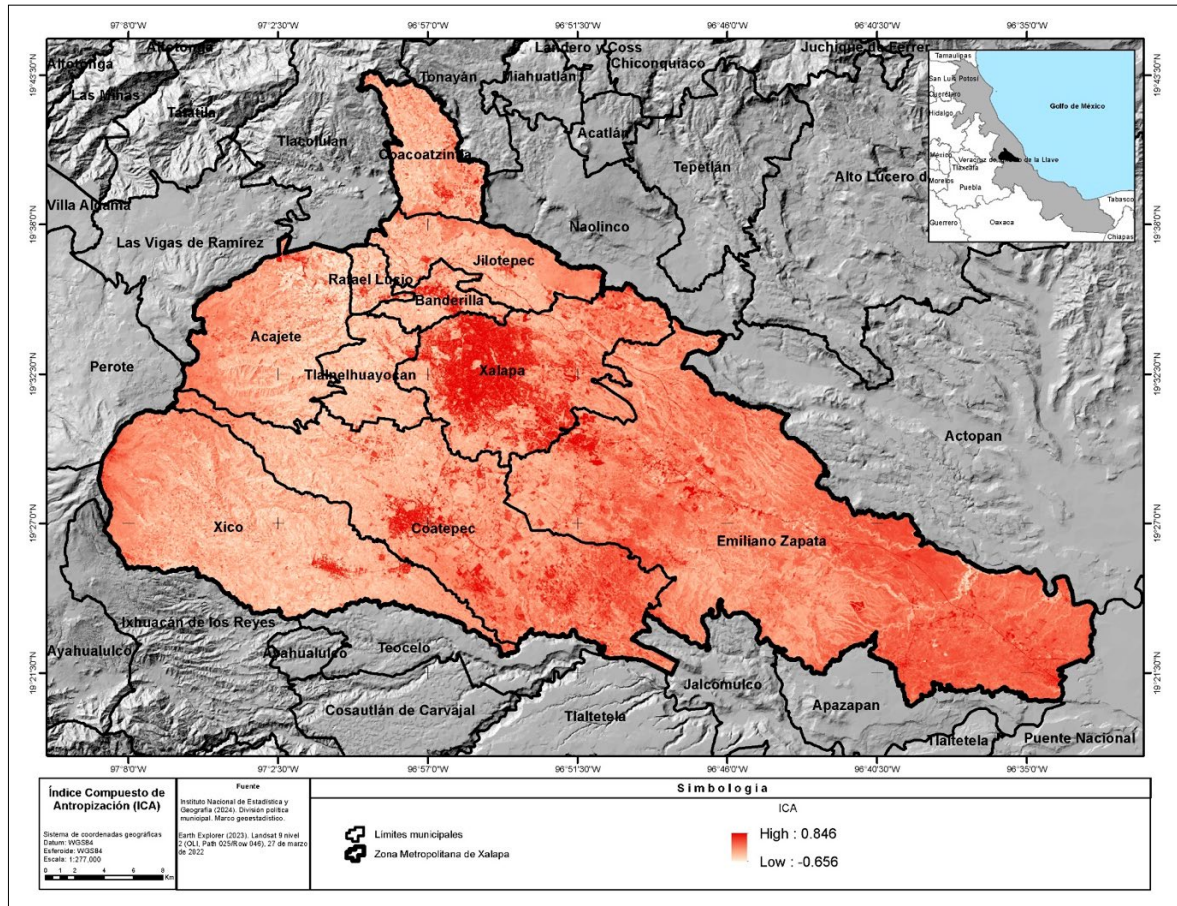


Figura 7. Distribución espacial del Índice Compuesto de Antropización (ICA) en la ZMX. Fuente: elaboración propia.

valores del índice con polígonos de referencia de usos urbanos, agrícolas y forestales, mostrando una correlación significativa ($R^2=0.81$) con los patrones de ocupación del suelo; c) *Asignación de localidades*: se utilizó la cartografía de localidades del INEGI (2022) y se asignaron a la categoría periurbana aquellas que coincidieron espacialmente con polígonos definidos por la integración de criterios. En casos de píxeles aislados, se empleó un criterio de contigüidad espacial con buffers de 250 m para garantizar consistencia.

Caracterización socioeconómica e institucional

Se procesaron variables sociodemográficas y económicas a partir del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2022) y del Directorio

Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2023), incluyendo población, estructura etaria, nivel educativo, acceso a servicios, vivienda y unidades económicas. Esta información se integró mediante análisis espacial para caracterizar las condiciones socioeconómicas del STPU (Figura 9).

RESULTADOS

Delimitación espacial del STPU en la ZMX

La integración cartográfica mediante los criterios operativos descritos (uso de suelo agrícola/pecuario, pendiente $\leq 35\%$, exclusiones normativas, ICA intermedio) permitió delimitar el Sistema Territorial Periurbano en la Zona Metropolitana

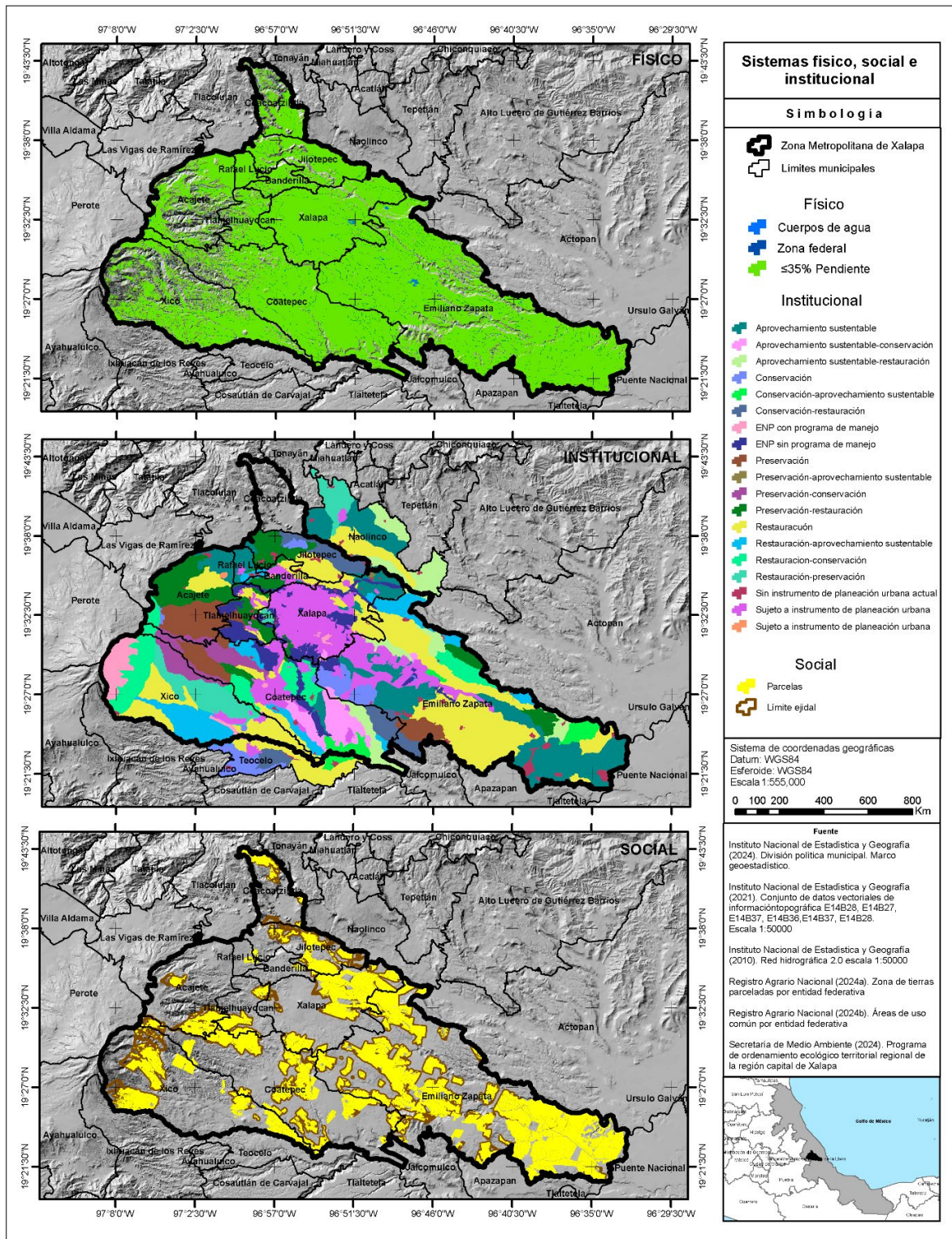


Figura 8. Representación espacial de los sistemas físico, social e institucional. Fuente: elaboración propia.

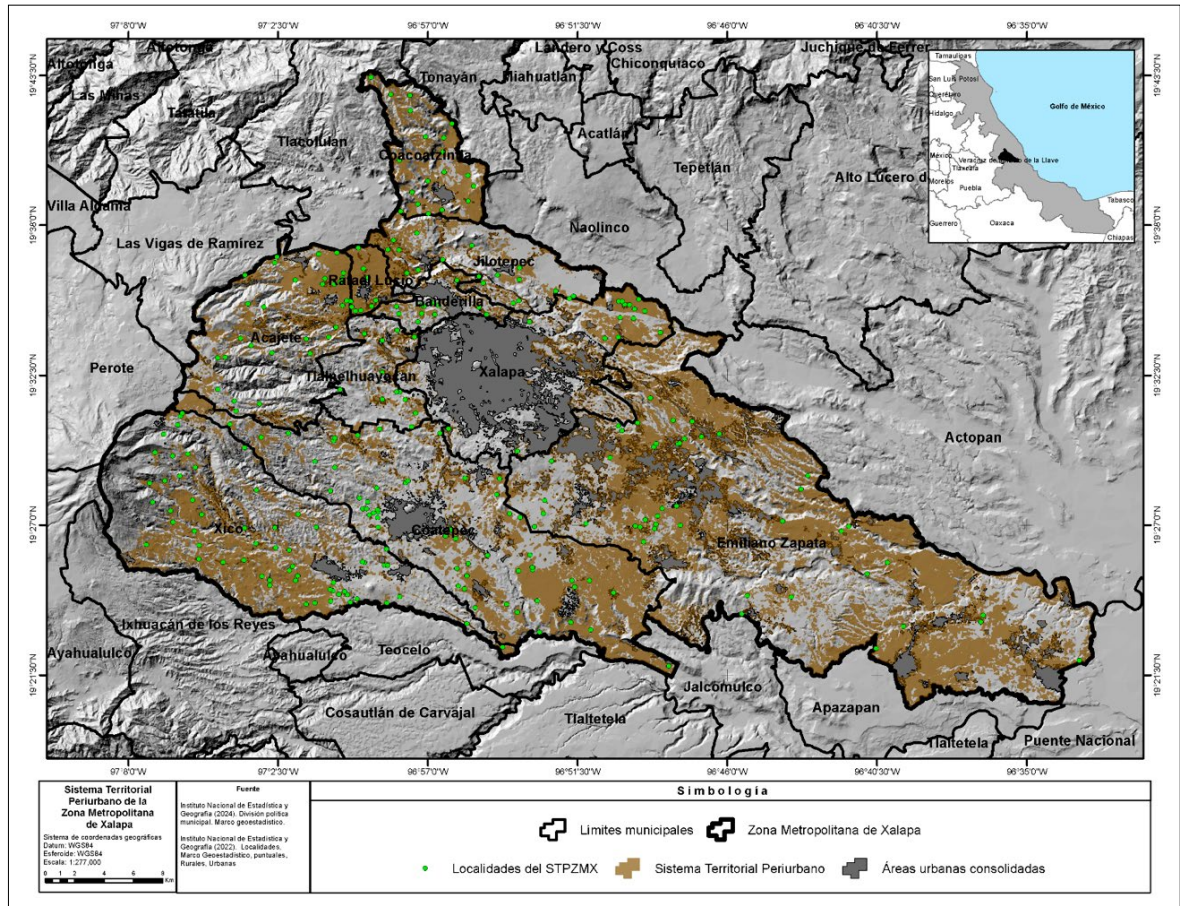


Figura 9. Delimitación del Sistema Territorial Periurbano (STPU) en la Zona Metropolitana de Xalapa. Fuente: elaboración propia.

de Xalapa. De las 118 704 hectáreas de superficie total de la ZMX, 31 386 hectáreas presentan atributos de STPU, representando el 26.4 % de la superficie total. En esta delimitación, 108 354 hectáreas corresponden a la superficie agregada de los diez municipios según datos oficiales, mientras que la diferencia se explica por ajustes cartográficos en los límites municipales (Tabla 4).

En el STPU se asienta una población total de 18 945 personas (2.4 % de la población total de la ZMX), distribuidas en 271 localidades (35.4 % del total de localidades de la ZMX). Esto refleja una baja densidad poblacional de 0.60 hab./ha, característica distintiva de los espacios periurbanos frente a las zonas urbanas consolidadas. Solo en

cuatro de los diez municipios de la ZMX el STPU rebasa el 25 % de la superficie municipal: Rafael Lucio (74.1 %), Coacoatzintla (35.7 %), Emiliano Zapata (33.8 %) y Coatepec (26.9 %).

El Índice Compuesto de Antropización (ICA) muestra variación espacial significativa dentro de la ZMX. Las áreas con ICA alto se concentran en torno a la ciudad de Xalapa y las cabeceras municipales de Coatepec, Banderilla y Emiliano Zapata, que corresponden a zonas urbanas consolidadas. Las áreas con ICA intermedio, que constituyeron uno de los criterios de delimitación del STPU, se distribuyen en corona alrededor de estos núcleos urbanos, mientras que las áreas con ICA bajo corresponden predominantemente a zonas forestales y agrícolas de ladera.

Tabla 4. Superficie, número de localidades y población del STPU por municipio en la ZMX.

Municipio	Superficie		Relación STPU/ Municipio	Número de localidades	Tamaño poblacional	
	STPU					Municipio
	Ha	(%)				Ha
Acajete	2196.89	7.00	9751.86	22.53	31	1862
Banderilla	368.70	1.17	1980.48	18.62	13	1069
Coacoatzintla	1569.56	5.00	4395.87	35.71	18	2939
Coatepec	5438.22	17.33	20 239.21	26.87	54	3363
Emiliano Zapata	14 054.83	44.78	41 603.78	33.78	44	481
Jilotepec	1262.80	4.02	5630.23	22.43	18	2124
Rafael Lucio	854.22	2.72	1152.72	74.10	9	742
Tlalnelhuayocan	422.01	1.34	3671.47	11.49	11	2270
Xalapa	1512.36	4.82	12 468.64	12.13	15	973
Xico	3706.84	11.81	17 907.51	20.70	58	3122
Total	31 386.43	100	108 354.0	xx	271	18 945.0

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2022, 2024).

Caracterización socioeconómica del STPU

El análisis de las variables socioeconómicas del STPU, derivadas del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2022), revela condiciones diferenciadas respecto a las zonas urbanas consolidadas y las zonas rurales. La Tabla 5 presenta una comparación sistemática de indicadores clave entre estos tres tipos de territorios.

La estructura poblacional del STPU muestra una composición demográfica relativamente joven, con un 38 % de habitantes menores de 18 años y solo un 9 % mayores de 60 años, lo que contrasta con la estructura demográfica de las zonas urbanas consolidadas (27 % jóvenes y 12 % adultos mayores). En términos de ingresos, según datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2020) para el nivel de localidad, el ingreso promedio mensual por hogar en localidades del STPU es aproximadamente 35 % inferior al de las zonas urbanas consolidadas. El 62 % de la población del STPU se encuentra en situación de pobreza, frente al 48 % en zonas

urbanas, asociado parcialmente a la predominancia de empleos informales en el sector agropecuario (CONEVAL, 2020).

El análisis de unidades económicas a partir del DENU (INEGI, 2023) muestra una predominancia de microempresas (92 % del total), principalmente dedicadas al comercio minorista, servicios personales y pequeñas manufactureras. Se identificaron 427 unidades económicas formales dentro del STPU, con una relación de 22.5 unidades por cada 1000 habitantes, cifra significativamente inferior a la de zonas urbanas consolidadas (56.3 unidades por cada 1000 habitantes).

Las actividades productivas en el STPU presentan una dualidad entre lo rural y lo urbano. De acuerdo con la clasificación de uso de suelo, el 48 % de la superficie mantiene usos agropecuarios activos. Se observa la presencia de pequeñas explotaciones agrícolas de tiempo parcial, patrón documentado por González-Arellano *et al.* (2021) como característico de las interfaces periurbanas en México.

Tabla 5. Comparación de indicadores socioeconómicos entre zonas urbanas consolidadas, Sistema Territorial Periurbano (STPU) y zonas rurales de la Zona Metropolitana de Xalapa.

Indicador	Zonas urbanas consolidadas	STPU	Zonas rurales
Demografía			
Población total (hab.)	721 458	18 945	58 455
Número de localidades	23	271	471
Densidad poblacional (hab./ha)	54.96	0.60	0.12
Población <18 años (%)	27	38	42
Población >60 años (%)	12	9	8
Condiciones socioeconómicas			
Población en situación de pobreza (%)	48	62	74
Ingreso mensual promedio por hogar (MXN)	13 280	8650	5420
Unidades económicas por 1000 hab.	56.3	22.5	8.7
Acceso a servicios básicos en viviendas			
Conexión a red de agua potable (%)	96	68	42
Cobertura de drenaje (%)	94	53	28
Servicio de electricidad (%)	99	89	82
Equipamiento e infraestructura			
Localidades con escuela básica (%)	100	62	34
Localidades con unidad médica (%)	100	12	6
Vialidades pavimentadas (%)	92	27	8
Localidades con transporte público (%)	100	45	18

Notas: las zonas urbanas consolidadas corresponden a las 23 localidades ubicadas dentro de las AGEB urbanas delimitadas por INEGI. El STPU corresponde a las 271 localidades identificadas dentro del Sistema Territorial Periurbano mediante los criterios metodológicos descritos. Las zonas rurales corresponden a las localidades restantes no clasificadas como urbanas ni periurbanas.

Fuentes: elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2022), Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2023) y Medición de la pobreza 2020 (CONEVAL, 2020).

Caracterización del acceso a servicios básicos e infraestructura

El acceso a servicios básicos en el STPU presenta deficiencias significativas según datos del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2022): solo el 68 % de viviendas cuenta con conexión a la red pública de agua potable (versus 96 % en zonas urbanas consolidadas), la cobertura de drenaje alcanza el 53 % (versus 94 % en zonas urbanas), mientras que el servicio de electricidad muestra una cobertura del 89 % (versus 99 % en zonas urbanas). Respecto a infraestructura educativa, el 38 % de las localidades del STPU carecen de escuelas de nivel básico, y solo el 12 % cuentan con alguna unidad médica de primer nivel (INEGI, 2022), reforzando la dependencia funcional del STPU respecto a las zonas urbanas para estos servicios.

Análisis institucional y gobernanza

El análisis de instrumentos normativos y políticas públicas revela brechas en la gestión del STPU que no son exclusivas de este territorio, sino que reflejan problemáticas más amplias de coordinación metropolitana. Solo cinco de los diez municipios cuentan con planes municipales de desarrollo urbano actualizados (posteriores a 2018), y únicamente tres de ellos (Xalapa, Coatepec y Emiliano Zapata) contemplan estrategias específicas para zonas de transición urbano-rural.

El Programa de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Xalapa (POTZMX, SEDATU, 2022) constituye el instrumento metropolitano vigente. De sus 43 estrategias, siete están orientadas específicamente a la gestión de zonas de interfaz urbano-rural, incluyendo regulación de cambios de uso de suelo, protección de áreas agrícolas productivas y fortalecimiento de servicios en localidades periféricas. Sin embargo, la implementación de estas estrategias enfrenta desafíos de coordinación entre las 18 instancias gubernamentales con atribuciones en el territorio metropolitano.

El papel de la propiedad ejidal en la configuración del STPU

El análisis espacial de la propiedad social revela que el 67 % de la superficie del STPU corresponde a tierras ejidales, distribuidas en 79 ejidos, de los

cuales 61 se ubican en los municipios centrales de la ZMX. Esta concentración de propiedad ejidal en el STPU es significativa porque la tenencia ejidal ha mostrado alta susceptibilidad a la conversión hacia usos urbanos tras las reformas agrarias de 1992 que permitieron la enajenación de tierras ejidales.

El caso documentado por Libreros Baizabal (2020) ilustra este proceso: entre 2000 y 2007, trece ejidos del municipio de Xalapa destinaron parte significativa de su superficie a la expansión urbana, registrándose tasas de conversión que oscilan entre el 40 % y el 99.2 %. Este patrón coincide con lo observado por Westerink *et al.* (2013) sobre los efectos de la expansión urbana en la fragmentación del paisaje periurbano, aunque en el contexto mexicano el sistema ejidal añade una dimensión institucional específica a esta dinámica.

DISCUSIÓN

El análisis del Sistema Territorial Periurbano (STPU) en la Zona Metropolitana de Xalapa (ZMX) revela una configuración espacial de alta complejidad, resultado de la interacción entre dimensiones físico-naturales, socioeconómicas y político-institucionales. Los resultados confirman la validez del enfoque multidimensional para la delimitación de territorios periurbanos, coherente con los marcos teóricos desarrollados por Allen (2003), Follmann (2022) y Ravetz y Sahana (2025).

La metodología desarrollada demuestra que la integración de múltiples criterios territoriales permite una caracterización más precisa que enfoques monodimensionales, aunque reconoce limitaciones inherentes. La simplificación del sistema social a la propiedad ejidal y del sistema urbano a las superficies edificadas representa una operacionalización necesaria, pero insuficiente, para capturar la complejidad de estos sistemas. Investigaciones futuras podrían enriquecer el análisis incorporando variables de flujos de movilidad, redes de abasto y dinámicas demográficas a escala de localidad.

La delimitación del STPU en 31 386 hectáreas (26.4 % del territorio metropolitano) con 271 localidades (35.4 % del total) evidencia la relevancia cuantitativa de este espacio de transición. La

concentración del 67 % de la superficie periurbana en tierras ejidales confirma el papel central de la propiedad social en la configuración territorial periurbana mexicana, hallazgo consistente con lo reportado por González-Arellano *et al.* (2021) para otras zonas metropolitanas del país.

Las condiciones socioeconómicas del STPU, con indicadores sistemáticamente inferiores a las zonas urbanas consolidadas en acceso a servicios, ingresos y empleo formal, confirman la necesidad de políticas diferenciadas para estos territorios. Sin embargo, es importante evitar generalizaciones: el STPU presenta heterogeneidad interna que futuras investigaciones deberían caracterizar mediante tipologías específicas según gradientes de urbanización, accesibilidad y condiciones socioeconómicas.

El STPU de la ZMX desempeña funciones ecosistémicas relevantes para la sustentabilidad metropolitana. Su contribución a la regulación hídrica es particularmente significativa: según el Programa de Ordenamiento Ecológico (SEDEMA, 2024a), aproximadamente el 60 % de las zonas de recarga hídrica de importancia metropolitana se localizan en territorios con características periurbanas. Adicionalmente, el STPU sostiene sistemas de producción alimentaria de proximidad que abastecen mercados urbanos, aunque esta función no fue cuantificada sistemáticamente en el presente estudio.

Esta expansión metropolitana sigue tendencias globales identificadas por Seto *et al.* (2012), quienes proyectan que, si las tendencias actuales de densidad poblacional continúan, para 2030, la cobertura de suelo urbano aumentará en 1.2 millones de km² a nivel global. En el caso de la ZMX, el STPU constituye el frente de expansión probable, lo que subraya la urgencia de instrumentos de planificación específicos.

CONCLUSIONES

La investigación desarrolló y aplicó una metodología de delimitación del Sistema Territorial Periurbano basada en un enfoque multidimensional, integrando criterios de uso de suelo, pendiente, restricciones normativas, propiedad social e índi-

ce de antropización. Esta aproximación permitió identificar 31 386 hectáreas con características periurbanas en la ZMX, equivalentes al 26.4 % del territorio metropolitano, donde se asientan 271 localidades que albergan al 2.4 % de la población metropolitana.

Los criterios operativos de delimitación demostraron consistencia espacial y replicabilidad metodológica, con una exactitud del 86 % en la clasificación de uso de suelo y una correlación significativa ($R^2 = 0.81$) entre el Índice Compuesto de Antropización y los patrones de ocupación territorial. No obstante, la metodología presenta limitaciones reconocidas: la simplificación del sistema social a la propiedad ejidal y del sistema urbano a las superficies edificadas son operacionalizaciones útiles pero insuficientes para capturar la complejidad inherente a estos sistemas.

La caracterización socioeconómica evidenció que el STPU presenta condiciones sistemáticamente inferiores a las zonas urbanas consolidadas en términos de acceso a servicios básicos (agua potable: 68 % vs 96 %; drenaje: 53 % vs 94 %), ingresos por hogar (35 % inferior) y dotación de equipamiento educativo y de salud. Estas desigualdades justifican la necesidad de políticas públicas diferenciadas que atiendan las especificidades del territorio periurbano.

La concentración del 67 % de la superficie del STPU en tierras ejidales, distribuidas en 79 ejidos, constituye un factor de vulnerabilidad territorial al cambio de uso de suelo. Los marcos regulatorios actuales establecen que los terrenos forestales, áreas naturales protegidas y zonas federales no deben destinarse a usos urbanos; en consecuencia, el STPU representa el frente territorial con mayor susceptibilidad a la expansión urbana futura, lo que subraya la urgencia de instrumentos de ordenamiento específicos.

El análisis institucional reveló que solo cinco de los diez municipios cuentan con planes de desarrollo urbano actualizados, y apenas tres contemplan estrategias específicas para zonas de transición urbano-rural. Esta brecha normativa, combinada con la fragmentación de competencias entre 18 instancias gubernamentales, limita la capacidad de gestión coordinada del STPU. A pesar de estas

limitaciones, el STPU presenta potencialidades significativas para la sustentabilidad metropolitana, particularmente en regulación hídrica, producción alimentaria de proximidad y conservación de servicios ecosistémicos.

RECOMENDACIONES

A partir de los hallazgos de esta investigación, se formulan las siguientes recomendaciones orientadas a mejorar la gestión del Sistema Territorial Periurbano en la Zona Metropolitana de Xalapa y contextos similares.

En primer lugar, resulta necesario superar el enfoque dualista tradicional que estructura la política territorial mexicana en torno a la dicotomía urbano-rural. La Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de 2016 y la Ley General de Cambio Climático de 2012 ofrecen marcos normativos que permiten incorporar territorios de transición como el STPU en los instrumentos de planeación, pero su implementación requiere voluntad política y capacidades técnicas en los tres órdenes de gobierno. Se recomienda desarrollar instrumentos de planificación específicos para el STPU que reconozcan su singularidad territorial, integrando visiones urbanas y rurales en estrategias de ordenamiento diferenciadas según las condiciones locales.

En segundo lugar, se recomienda fortalecer los mecanismos de coordinación intergubernamental para la gestión del STPU, estableciendo o fortaleciendo instancias metropolitanas con atribuciones específicas sobre territorios periurbanos. La fragmentación actual de competencias entre múltiples instancias dificulta la implementación de políticas coherentes y genera vacíos de gestión que son aprovechados para procesos de urbanización irregular.

En tercer lugar, considerando que el 67 % del STPU corresponde a tierras ejidales, se recomienda diseñar esquemas de acompañamiento técnico y jurídico para ejidos ubicados en zonas periurbanas, orientados a promover alternativas productivas sustentables que desincentiven la venta de tierras para urbanización. Estos esquemas podrían incluir programas de pago por servicios ambientales,

apoyo a la agricultura periurbana de proximidad y fortalecimiento de capacidades organizativas de los núcleos agrarios.

Finalmente, se recomienda generar sistemas de información y monitoreo específicos para el STPU, que permitan dar seguimiento a las dinámicas de transformación territorial mediante indicadores actualizados de cambio de uso de suelo, expansión urbana, condiciones socioeconómicas y estado de los recursos naturales. Esta información constituye un insumo imprescindible para la toma de decisiones basada en evidencia y para la evaluación de las políticas implementadas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación del estudiante de Doctorado en Desarrollo Regional Sustentable en El Colegio de Veracruz. Para la formación doctoral del primer autor se contó con la subvención otorgada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) a través de la beca número 822457.

REFERENCIAS

- Allen, A. (2003). Environmental planning and management of the peri-urban interface: perspectives on an emerging field. *Environment Urbanization*, 15(1), 135-148.
- Ávila Sánchez, H. (2001). Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos: Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América. *Investigaciones Geográficas*, (45), 108-127.
- Barbosa, V., Pradilla, M. M. S. y Rajendran, L. P. (2022). Peri-urbanization, dynamics, and challenges in developing countries towards sustainable urban growth-Special Section Editorial. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, (14), 1-10.
- Benítez Badillo, G. (2011). *Crecimiento de la Población y Expansión Urbana de la Ciudad de Xalapa, Veracruz y sus Efectos sobre la Vegetación y Agroecosistemas*. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados.
- Benítez, G., Pérez-Vázquez, A., Nava-Tablada, M., Equihua, M. y Álvarez-Palacios, J. L. (2011). Expansión de los asentamientos informales y sus efectos ambientales en la periferia de la Ciudad de Xalapa, Veracruz, México. *Medio Ambiente y Urbanización*, 75(1), 47-70.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2024. Áreas Naturales Protegidas Federales de México, enero 2024. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpenero2024gw.html>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2023. *Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación*, agosto 2022. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/advcsghost22gw.html>
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2020). Medición de la pobreza 2020. Resultados de pobreza en México a nivel municipal. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (1992). *Ley de Aguas Nacionales*, Artículo 3, fracción XLVII.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). (2015). ArcGIS Desktop Release 10.6. Environmental Systems Research Institute. <https://desktop.arcgis.com/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), Rikolto y RUAFA (Global Partnership on Sustainable Urban Agriculture and Food Systems). (2022). *Urban and peri-urban agriculture sourcebook – From production to food systems*. Roma. FAO and Rikolto.
- Follmann, A. (2022). Geographies of peri-urbanization in the global south. *Geography Compass*, 16, e12650.
- Gómez Orea, D. y Gómez Villarino, A. (2013). *Ordenación Territorial*. Ediciones Mundi-Prensa.
- González-Arellano, S., Larralde-Corona, A. H. y Cruz-Bello, G. M. (2021). El periurbano en México: identificación y caracterización sociodemográfica y territorial. *Papeles de Población*, 27(108), 119-145.
- Hernández Puig, S. (2016). El periurbano, un espacio estratégico de oportunidad. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21(1), 160.
- Hidayati, I. N., Suharyadi, R. y Danoedoro, P. (2018). Developing an extraction method of urban built-up area based on remote sensing imagery transformation index. *Forum Geografi*, 32(1), 96-108.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). Red hidrológica 2.0 versión 2.0 escala 1:50 000. <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016). Cuerpos de Agua escala 1:50 000. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598435>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019a). Área geoestadística básica urbana, 2019, escala: 1:250000. edición: 1. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463674658>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019b). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019.

- Manual de Cartografía Geoestadística. https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/607/related_materials?idPro=
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica escala 1:50 000. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2022). Censo de población y vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2023). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denuel/>
- Kebede, T. A., Hailu, B. T. y Suryabagavan, K. V. (2022). Evaluation of spectral built-up indices for impervious surface extraction using Sentinel-2A MSI imageries: A case of Addis Ababa city, Ethiopia. *Environmental Challenges*, (8), 100568.
- Libreros Baizabal, H. A. (2020). *La migración interna en el estado de Veracruz y sus efectos en el diseño de políticas públicas: Caso ciudad de Xalapa*. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores de las Ciencias Administrativas, Universidad Veracruzana.
- Lynch, P., Blesius, L. y Hines, E. (2020). Classification of urban area using multispectral indices for urban planning. *Remote Sensing*, 12(15), 2503.
- McGee, T. G. (1991). The emergence of desakota regions in Asia: Expanding a hypothesis. En N. Ginsburg, B. Koppel y T. G. McGee (Eds.), *The extended metropolis: Settlement transition in Asia* (pp. 3-25). University of Hawaii Press.
- Morales Hernández, A. (2014). *La interfase urbano-rural como espacio estructurador de la expansión urbana*. Tesis de Maestría. Facultad de Arquitectura, Universidad Veracruzana.
- Muhaimin, M., Fitriani, D., Adyatma, S., & Arisanty, D. (2022). Mapping Build-Up Area Density Using Normalized Difference Built-Up Index (Ndbi) and Urban Index (Ui) Wetland in the City Banjarmasin. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1089(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1089/1/012036>
- Nguyen, C. T., Chidthaisong, A., Diem, P. K. y Huo, L. Z. (2021). A modified bare soil index to identify bare land features during agricultural fallow-period in southeast Asia using Landsat 8. *Land*, 10(3), 10030231.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015.
- ONU-Hábitat (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos). (2017). *Nueva agenda urbana*. <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- ONU-Hábitat (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos). (2019). *Reporte nacional de prosperidad urbana en México. Índice de las ciudades prósperas (CPI)*. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/reportes-nacional-de-prosperidad-urbana-en-mexico-2019>
- Prain, G. (2022). *Potential of urban and peri-urban agriculture in the Global South: Priority investments for innovation*. Commission on Sustainable Agriculture Intensification. <https://hdl.handle.net/10568/119438>
- Pribadi, D. O. y Pauleit, S. (2015). The dynamics of peri-urban agriculture during rapid urbanization of Jabodetabek metropolitan area. *Land Use Policy*, (48), 13-24.
- Rajendran, L. P., Raúl, L., Chen, M., Guerrero Andrade, J. C., Akhtar, R., Eliyah Mngumi, L., Chander, S., Shrinivas, S. y Rinya Roy, M. (2024). The 'peri-urban turn': A systems thinking approach for a paradigm shift in reconceptualising urban-rural futures in the global South. *Habitat International*, (146), 103041.
- RAN (Registro Agrario Nacional). (2024a). *Zona de tierras parceladas por entidad federativa*. <https://datos.gob.mx/busca/organization/ran>
- RAN (Registro Agrario Nacional). (2024b). *Áreas de uso común por entidad federativa*. <https://datos.gob.mx/busca/organization/ran>
- Ravetz, J., y Sahana, M. (2025). Where is the peri-urban? Mapping the areas 'around, beyond and between'. *Frontiers in Sustainable Cities*, (7), 1436287.
- SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano) (2022). *Programa de ordenamiento territorial de la zona metropolitana de Xalapa, Veracruz*. <https://www.veracruz.gob.mx/desarrollosocial/wp-content/uploads/sites/12/2023/10/Gac2022-468-Jueves-24-TOMO-II-Ext.pdf>
- SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano), CONAPO (Consejo Nacional de Población), y INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información). (2005). *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México*. SEDESOL-CONAPO-INEGI. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas_metropolitanas/zm_2005.pdf
- SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano), CONAPO (Consejo Nacional de Población) e INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2023). *Metrópolis de México 2020*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007073>
- SEDEMA (Secretaría de Medio Ambiente). (2024a). *Programa de ordenamiento ecológico territorial regional de la región capital de Xalapa*. <https://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/ordenamiento-ecologico/>

- SEDEMA (Secretaría de Medio Ambiente). (2024b). *Espacios naturales protegidos*. <https://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/espacios-naturales-prottegidos/>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2014). *Inventario estatal, forestal y de suelos del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave 2013*.
- Seto, K.C., Güneralp, B. y Hutyra, L.R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *PNAS*, 109(40), 16083-16088.
- U.S. Geological Survey. (2023). Earth Explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Valdiviezo-N, J. C., Téllez-Quiñones, A., Salazar-Garibay, A. y López-Caloca, A. A. (2018). Built-up index methods and their applications for urban extraction from Sentinel 2A satellite data: discussion. *Journal of the Optical Society of America A*, 35(1), 35-44.
- Valencia, M. E., Le Coq, J. F., Favareto, A., Samper, M., Sáenz-Segura, F. y Sabourin, E. (2019). *Hacia una nueva generación de políticas públicas para el desarrollo territorial rural en América Latina*. Red Políticas Públicas y Desarrollo Rural en América Latina. <https://www.pp-al.org/es/content/download/4945/38288/version/1/file/info+note+web-12-11-19.pdf>
- Villatoro, F. (2017). El territorio como sistema complejo. *ECA Estudios Centroamericanos*, 72(749), 165-176.
- Westerink, J., Haase, D., Bauer, A., Ravetz, J., Jarrige, F., y Aalbers, C.B.E.M. (2013). Dealing with sustainability trade-offs of the compact city in peri-urban planning across European city regions. *European Planning Studies*, 21(4), 473-497.