



Agraria

Vol. 23, Núm. Especial 1: Mayo de 2026

Socioecosistemas
en el Gradiente

Urbano-Rural:

Conectividad, resiliencia y
sostenibilidad territorial

<https://www.revistaagraria.com>

La **Revista Agraria** es un reflejo de la vocación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la Universidad del Campo, que desde 1923, entonces como escuela regional de agricultura, se ha enfocado en fortalecer el desarrollo de las ciencias del campo a través de la generación de conocimiento resultado de la investigación, para favorecer el desarrollo del sector rural nacional e internacional. Agraria tiene como objetivo divulgar e intercambiar los logros científico-tecnológicos de investigadores nacionales y de otros países, a través de una revista de divulgación científica y transferencia de tecnología relacionada con las vertientes tecnológicas, biotecnológicas, ecológicas, de salud y socioeconómicas de la agricultura, así como actividades pecuarias, forestales y de alimentos, con el propósito de contribuir al desarrollo social y productivo del sector rural de México y del mundo.

Agraria es una publicación periódica, cuatrimestral, editada y distribuida por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a través del Departamento de la Revista Científica y Tecnológica de la Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro, 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. Página web: <http://www.revistaagraria.com/>, E-mail: revista_agraria@uaaan.edu.mx. Tel. +52 (844) 411 02 12 y 4 11 02 80, ext. 2003. Número de Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-091214153500-102; ISSN: 3061-8754, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor.

PRÓLOGO

El acelerado proceso de urbanización y la transformación de los paisajes rurales han configurado territorios cada vez más complejos, donde las interacciones entre sistemas ecológicos y sociales no solo se intensifican, sino que se reconfiguran de manera continua. En este contexto, la tradicional separación entre lo urbano y lo rural resulta insuficiente para comprender los desafíos contemporáneos asociados al cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la seguridad alimentaria y la gestión sostenible de los recursos naturales.

Frente a esta limitación, el enfoque del gradiente urbano-rural –entendido como un continuo que integra de manera explícita la transición periurbana– ofrece una perspectiva integradora para comprender estas dinámicas. Este enfoque permite reconocer la coexistencia e interdependencia de distintas formas de uso del suelo, organización social y funcionamiento ecológico, así como identificar patrones, procesos y umbrales que resultan clave para el diseño de estrategias de intervención más efectivas, equitativas y territorialmente pertinentes.

El presente número especial de la revista AGRARIA surge como iniciativa de la Red de Generación de Conocimiento e Incidencia Social sobre Socioecosistemas en el Gradiente Urbano-Rural (SeGUR), con propósito de visibilizar estas interconexiones desde una perspectiva socioecológica. Las contribuciones aquí reunidas reflejan la diversidad de enfoques, escalas y metodología desde las cuales puede abordarse el gradiente urbano-rural, integrando dimensiones ecológicas, sociales, tecnológicas y culturales.

Entre los temas abordados destacan la regulación climática y las islas de calor urbanas, la restauración de ecosistemas forestales, la gestión del agua mediante soluciones basadas en la naturaleza, la biotecnología aplicada a la resiliencia territorial, la seguridad alimentaria y los sistemas bioculturales, así como el papel de la educación ambiental en la construcción de sociedades más informadas, críticas y participativas.

Este esfuerzo editorial se enmarca en el trabajo articulador de la SeGUR, que promueve el diálogo entre investigación científica, el conocimiento local y la acción colectiva, reconociendo que los desafíos socioambientales actuales requieren enfoques integrados y colaborativos. En este sentido, el número no solo busca difundir conocimiento, sino también contribuir a la construcción de agendas territoriales más inclusivas, justas y orientadas a la sostenibilidad.

En un contexto de crisis ambiental global, comprender y actuar sobre el gradiente urbano-rural deja ser únicamente un ejercicio académico para convertirse en una herramienta estratégica en la toma de decisiones. Su abordaje resulta fundamental para fortalecer la resiliencia de los territorios y garantizar el bienestar de las generaciones presente y futuras.

EDITORA INVITADA: DRA. MARLÍN PÉREZ SUÁREZ

CONTENIDO

1. El gradiente urbano–rural: un continuo de socioecosistemas y provisión de servicios ecosistémicos. Marlín Pérez-Suárez, Jorge E. Ramírez-Albores, Patricia Hernández-de la Rosa, William Gómez-Demetrio, María Cristina Chávez-Mejía, René García-Martínez. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.740>
2. Influencia de la urbanización en los gradientes de calor urbano: un enfoque socioecosistémico. Tomás Martínez-Trinidad, Marlín Pérez-Suárez, José Antonio de la Cruz-Hernández, Demetrio Castelán-Urquiza. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.741>
3. Aulas digitales verdes: tecnología para difundir el conocimiento sobre procesos ecológicos y problemas socioambientales. René García-Martínez, Tomás Martínez-Trinidad, Patricia Hernández-de la Rosa, Luis Alberto León-Bañuelos. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.742>
4. Biotecnología para la resiliencia en el gradiente urbano–rural. Ángel Roberto Martínez-Campos, Lizbeth Carrillo-Arizmendi, Mariana Carolyn Cruz-Mendoza, Gabriela González-Vazquez. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.743>
5. Tianguis y mercados en el gradiente urbano-rural: puentes bioculturales entre el campo y la ciudad. María Cristina Chávez-Mejía, Gregoria Rodríguez-Muñoz, Marcos Israel Campos-López, William Gómez-Demetrio. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.744>
6. Restauración de los ecosistemas forestales: beneficios para las poblaciones urbanas y rurales. Francisca Ofelia Plascencia-Escalante, Juan Carlos Montoya-Jiménez, Patricia Hernández de la Rosa, César Primero-Huerta. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.745>
7. De la nube al vaso: la captación de agua de lluvia como solución basada en la naturaleza para un futuro con agua. María de Lourdes Maya-Salazar, Ángel Roberto Martínez-Campos, Francisco Herrera-Tapia, Marlín Pérez-Suárez, Patricia Hernández de la Rosa. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.746>
8. De pulmones a guardianas del territorio: las Áreas Naturales Protegidas como ejes de conectividad ecológica en el gradiente urbano–rural. Lizbeth Carrillo-Arizmendi, Marlín Pérez-Suárez, Jorge E. Ramírez-Albores, Juan Carlos Montoya-Jiménez. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.747>
9. Fauna silvestre en el gradiente urbano-rural: una mirada socioecológica a la coexistencia entre naturaleza y ciudad. Jorge E. Ramírez-Albores, Alina Gabriela Monroy-Gamboa, José F. González-Maya, Romeo A. Saldaña-Vázquez, Heliot Zarza. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.748>
10. Biomasa forestal y energía en el gradiente urbano-rural: beneficios, riesgos y desafíos para la sostenibilidad. René García-Martínez, Marlín Pérez-Suárez, Lizbeth Carrillo-Arizmendi, Juan Carlos Montoya-Jiménez, Julio César Ayllón-Benítez. <https://doi.org/10.59741/agraria.v23iE1.749>

Artículo de divulgación

El gradiente urbano-rural: un continuo de socioecosistemas y provisión de servicios ecosistémicos

The urban-rural gradient: continuum of socio-ecosystems and provision of ecosystem services

Marlín Pérez-Suárez ^{1,*}, Jorge E. Ramírez-Albores ², Patricia Hernández-de la Rosa ³, William Gómez-Demetrio ¹, María Cristina Chávez-Mejía ¹, René García-Martínez ⁴

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera El Cerrillo-Piedras Blancas s/n, Toluca de Lerdo, 50295, Estado de México, México.

² Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, 25315, Coahuila, México.

³ Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, 56264, Estado de México, México.

⁴ Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Carretera Federal Valle de Bravo Km. 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, 51200, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: marpersua@gmail.com, mperezs@uaemex.mx

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

27/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

La urbanización es un proceso global en acelerado crecimiento que transforma ecosistemas naturales y agropecuarios, modifica la biodiversidad y altera la provisión de servicios ecosistémicos. En este contexto, el gradiente urbano-rural representa un continuo territorial que va desde núcleos urbanos altamente compactos hasta zonas rurales y naturales, incluyendo espacios de transición como las áreas periurbanas. Este artículo representa un marco conceptual divulgativo para comprender cómo cambian la estructura ecológica, las presiones ambientales y las dinámicas socioecológicas a lo largo del gradiente urbano-rural. El análisis desde estos tres ejes –ecológico, ambiental y socioecológico– permiten interpretar cambios en la cobertura vegetal, conectividad ecológica, microclima, calidad ambiental y bienestar humano. Finalmente, se destaca la utilidad del enfoque de gradientes en la planificación territorial, al integrar conservación, infraestructura verde, gestión del agua y reducción de riesgos climáticos, con el fin de impulsar decisiones más sostenibles, equitativas y resilientes.

Palabras clave: conectividad ecológica, planificación territorial, resiliencia socioecológica, transiciones urbanas-periurbanas, zona periurbana.

ABSTRACT

Urbanization is a rapidly expanding global process that transforms natural and agricultural ecosystems, modifies biodiversity, and alters the provision of ecosystem services. In this context, the urban-rural gradient represents a territorial continuum that extends from highly compact urban cores to rural and natural areas, including transitional spaces such



as peri-urban zones. This article presents a conceptual and outreach-oriented framework to understand how ecological structure, environmental pressures, and socioecological dynamics vary along the urban-rural gradient. This threefold analytical approach—ecological, environmental and socioecological—enables the interpretation of changes in vegetation cover, ecological connectivity, microclimate, environmental quality, and human well-being. Finally, the relevance of the gradient approach for territorial planning is emphasized, as it integrates ecosystem conservation, green infrastructure, water management, and climate risk reduction to support more sustainable, equitable, and resilient decision-making.

Keywords: ecological connectivity, peri-urban areas, socioecological resilience, territorial planning, urban-peri-urban transitions.

INTRODUCCIÓN

La transformación del territorio ha acompañado a las sociedades humanas desde sus orígenes, inicialmente orientadas a asegurar alimento, agua y refugio. Con el paso del tiempo, se originaron los asentamientos humanos que fueron creciendo hasta convertirse en pueblos, ciudades y grandes zonas metropolitanas. Hoy en día, la mayoría de las actividades sociales, económicas y productivas se concentran en estos espacios urbanos (Ali y Rahman, 2024).

En este contexto, la urbanización -entendida como el proceso mediante el cual aumenta la proporción de la población que habita en las ciudades- se intensifica de manera sostenida. Actualmente, más del 55 % de los aproximadamente 8.2 mil millones de habitantes del planeta reside en áreas urbanas, y se estima que para el 2050 esta proporción alcanzará el 66 % de una población cercana a los 9.8 mil millones (United Nations, 2025). Esta tendencia no se limita al ámbito global: en México, la población urbana representa actualmente alrededor de 69 % del total nacional (Figura 1; Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano y CONAPO, 2020).

Las ciudades, por otra parte, no emergen en territorios desprovistos de historia ecológica o productiva. Por el contrario, suelen establecerse y expandirse sobre espacios previamente agrícolas o naturales (Angel, 2023). Este proceso transforma de manera progresiva la estructura, función y dinámica de los ecosistemas, reduciendo en muchos casos su capacidad para proveer servicios ecosistémicos, es decir, los beneficios que las personas obtienen de la naturaleza, como la regulación del clima, la infiltración de agua o el mantenimiento de la

biodiversidad, entre otros (Millennium Ecosystem Assessment, 2015; Vizzari et al., 2015;).

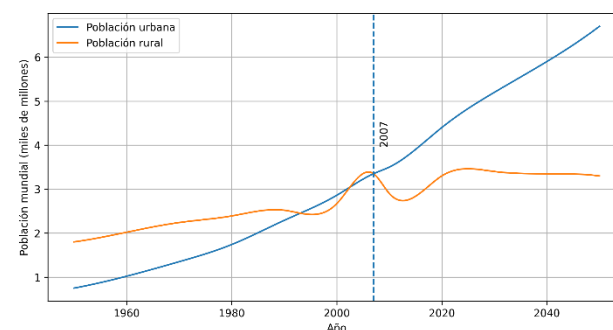


Figura 1. Tendencias de la población mundial urbana y rural entre 1950 y 2050 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division [UN, DESAL], 2019).

La urbanización redefine la relación entre la sociedad y su entorno, haciendo visible la tensión entre el desarrollo urbano y la integridad ecológica del territorio (Kageyama et al., 2026; Soni et al., 2024). Como resultado de este proceso emergen zonas de transición que van desde áreas completamente urbanizadas hasta paisajes naturales poco alterados. Estas transiciones territoriales conforman lo que se le conoce como gradientes urbano-rurales, que incluyen explícitamente la transición periurbana, y en los cuales se observan cambios en el microclima, la biodiversidad, los ritmos ecológicos y la provisión de servicios ecosistémicos (Hahs y McDonnell, 2006, McDonnell y Pickett, 1990), así como transformaciones en la manera en que las personas habitan y utilizan el territorio, concentrando contrastes sociales y vulnerabilidad ambiental (Inostroza et al., 2017). Entre el campo y la ciudad se generan, además, espacios periurbanos, donde convergen dinámicas

urbanas aceleradas y prácticas rurales persistentes, lo que evidencia que la clásica separación entre campo y ciudad resulta insuficiente para comprender cómo la urbanización afecta a los ecosistemas y a las comunidades (Inostroza et al., 2013, 2017), especialmente en un contexto de cambio climático global (Urban et al., 2024).

Este artículo explica el concepto de gradiente urbano-rural y muestra cómo el desarrollo urbano transforma de manera diferenciada las condiciones ecológicas y socioambientales a lo largo de este territorio, resaltando porque esta perspectiva debe incorporarse en la planificación territorial y en la toma de decisiones públicas orientadas hacia territorios más sostenibles, equitativos y resilientes. En este sentido, el enfoque del gradiente urbano-rural resulta particularmente relevante para orientar procesos de planificación territorial y el diseño de políticas públicas que reconozcan la interdependencia entre los sistemas urbanos, periurbanos y rurales.

EL GRADIENTE URBANO-RURAL

Si reconocemos el territorio como un continuo que se extiende desde el núcleo urbano compacto hasta las zonas rurales más abiertas, podemos observar cómo cambian progresivamente sus características (McDonnell y Pickett, 1990). En el centro de las zonas metropolitanas -por ejemplo, en los centros históricos y áreas comerciales- predominan las edificaciones, el tráfico y las superficies pavimentadas. Conforme se avanza hacia la periferia, la densidad de construcciones disminuye y comienzan a aparecer campos agrícolas, áreas arboladas y espacios abiertos, o bien otros ecosistemas, como zonas desérticas o bosques, dependiendo de la región del país (Figura 2).

La forma en que vive la gente también cambia a lo largo del gradiente urbano-rural; así como las actividades económicas y la relación de las personas con su entorno. Por ello, para comprender los gradientes urbano-rurales, la ciudad y el campo deben ser considerados como parte de un mismo sistema continuo, y no como dos mundos separados o contrapuestos. Reconocer estos gradientes permite identificar patrones microclimáticos, cambios en la biodiversidad y variaciones en la provisión de servicios ecosistémicos. Además, ayuda a comprender que las

decisiones en lo urbano tienen efectos en el campo y viceversa.



Figura 2. Perfil del gradiente urbano rural en donde puede observarse el cambio gradual en las condiciones socioecológicas y de infraestructura gris. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI, 2026).

LA ZONA PERIURBANA: UN ESPACIO

CLAVE DE TRANSICIÓN

Las zonas periurbanas son espacios de transición donde convergen usos del suelo urbanos y rurales. En ellas coexisten áreas habitacionales en expansión, infraestructura vial, actividades agrícolas, áreas verdes remanentes y nuevos servicios. Debido a esta mezcla, el periurbano suele concentrar conflictos relacionados con el acceso al agua, la presión sobre suelos agrícolas, la fragmentación del hábitat y la desigualdad en la distribución de beneficios ambientales.

Al mismo tiempo, estos territorios ofrecen oportunidades para impulsar infraestructura verde, agricultura periurbana, corredores biológicos y estrategias de mitigación climática, por lo que representan espacios estratégicos para la planificación territorial (González-Arellano et al., 2021).

La manera en que se gestiona esta interdependencia es determinante. Cuando se ignora, tiende a generar conflictos, degradación ambiental y desigualdades territoriales; cuando se reconoce y se orienta adecuadamente, puede convertirse en una fuente de beneficios compartidos. En este sentido, el análisis de los socioecosistemas permite identificar las relaciones entre

ambiente, gobernanza y procesos socioeconómicos, ofreciendo una base para orientar estrategias de adaptación frente a riesgos climáticos y socioambientales y para reconocer la continuidad funcional entre entornos urbanos y rurales.

EL GRADIENTE COMO SISTEMA SOCIOECOLÓGICO

A lo largo del gradiente urbano-rural se expresa con claridad la interdependencia entre los entornos urbano y rurales. Los territorios intercambian bienes materiales, flujos ecológicos, personas e información (Figura 3) (McDonnell y Pickett, 1990; Seto et al., 2012). Los ecosistemas rurales y periurbanos –en particular los bosques, zonas agrícolas y áreas verdes- proveen servicios esenciales que sostienen la vida urbana, como la regulación climática, la captura de carbono, la infiltración y purificación del agua, la polinización, el hábitat para la biodiversidad y espacios de valor cultural y recreativo.

	Rural	Periurbano	Urbano
Densidad poblacional	Baja	Media	Alta
Uso del suelo	Agricultura	Mezcla urbano-rural	Infraestructura
Flujos y servicios	Alimentos / agua	Producción local	Energía / servicios
Conectividad ecológica	Alta	Media	Baja

Figura 3. Cambios en densidad poblacional, uso del suelo predominante, flujos de servicios y conectividad ecológica a lo largo del gradiente urbano-periurbano-rural (Integrado de Ali y Rahman, 2024 y McDonnell et al., 1997).

Al mismo tiempo, las ciudades concentran infraestructura, tecnología, mercados, educación y servicios especializados que influyen en las dinámicas rurales. Este intercambio muestra que la sostenibilidad urbana depende directamente de la salud de los ecosistemas rurales y periurbanos, mientras que el desarrollo rural también se ve condicionado por su vínculo con los centros urbanos.

PERSPECTIVAS DE ANÁLISIS DEL GRADIENTE URBANO-RURAL

Para generar información útil y soluciones integrales frente a los impactos de la urbanización y del cambio

climático, es necesario observar el territorio desde perspectivas complementarias. El gradiente urbano-rural exige una mirada que integre dimensiones ecológicas, ambientales y sociales, ya que los cambios que se producen en él no pueden explicarse desde un solo campo del conocimiento.

A continuación, se presentan tres perspectivas que permiten comprender mejor las transformaciones que ocurren en el gradiente urbano-rural y sus implicaciones para la sostenibilidad de los territorios.

a) Desde la perspectiva ecológica

El gradiente urbano-rural permite identificar cómo varían la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas conforme aumenta la intensidad de la urbanización (McDonnell et al., 1997; McDonnell y Pickett, 1990). En las zonas más urbanizadas disminuye la cobertura vegetal, se reduce la diversidad de especies nativas y aumenta la fragmentación del hábitat. Al mismo tiempo, el sellado del suelo con concreto y asfalto limita la infiltración del agua y altera los ciclos hidrológicos. Estos cambios modifican procesos ecológicos fundamentales como la regulación térmica, la productividad primaria y la conectividad ecológica. La urbanización asociada al cambio en el uso y cobertura de la tierra también influye en las condiciones microclimáticas e hidrológicas, afectando la temperatura superficial del suelo, los patrones de escurrimiento y la provisión de servicios ecosistémicos.

En este contexto, los gradientes urbano-rurales permiten observar con claridad la interdependencia entre la ciudad y el campo a través del intercambio constante de bienes naturales, flujos ecológicos y dinámicas sociales (McDonnell et al., 1997). Estos procesos muestran que los ecosistemas rurales y periurbanos –como bosques, zonas agrícolas y áreas verdes- cumplen un papel fundamental en el funcionamiento de los territorios urbanos.

Actualmente se reconoce que los parques urbanos, las áreas verdes y otros espacios naturales dentro de las ciudades no cumplen únicamente funciones estéticas u ornamentales. Estos espacios contribuyen de manera significativa a la provisión de servicios ecosistémicos, como la regulación de la temperatura, la infiltración y regulación del agua, la captura de carbono y la generación de espacios para la recreación y la cohesión social.



Las zonas periurbanas, además de lo antes mencionado, desempeñan un papel clave en la provisión de servicios ecosistémicos a escala regional. Debido a su posición intermedia dentro del gradiente urbano-rural, estos territorios contribuyen a mantener la conectividad ecológica y a sostener procesos ambientales que benefician tanto a las ciudades como a las áreas rurales.

b) Desde la perspectiva ambiental

El gradiente urbano-rural también permite analizar la distribución territorial de las presiones ambientales generadas por las actividades humanas. Problemas como la contaminación del aire, el manejo del agua, la generación de residuos, el ruido y la escasez de áreas verdes suelen concentrarse en las ciudades, pero sus efectos se entienden más allá de ellas.



Figura 4. Distribución de la temperatura superficial en el gradiente urbano-rural. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI, 2026).

A lo largo del gradiente pueden observarse cambios progresivos en la calidad del aire, el confort térmico y la exposición a riesgos ambientales. En general, conforme disminuye la intensidad de la urbanización, el ruido se reduce, la calidad del aire mejora y las condiciones térmicas suelen ser más favorables.

La interacción entre urbanización acelerada y cambio climático intensifica la frecuencia y severidad de fenómenos como inundaciones, olas de calor y sequías (Urban et al., 2024). Uno de los ejemplos más representativos de estas dinámicas es la formación de islas de calor urbanas (Figura 4) donde la temperatura superficial se incrementa hacia el área central de los grandes centros urbanos, debido a la alta densidad de edificaciones y superficies pavimentadas, disminuyendo

gradualmente hacia las zonas periurbanas y rurales. Por tanto, comprender estos patrones es fundamental para diseñar estrategias de planificación territorial que reduzca los riesgos climáticos y mejoren la calidad ambiental de los territorios.

c) Desde la perspectiva socioecológica

La perspectiva socioecológica reconoce que las comunidades humanas y los ecosistemas están profundamente interrelacionados. Las decisiones sociales influyen en la provisión de servicios ecosistémicos, mientras que los cambios ambientales condicionan las formas de vida, las actividades económicas y las oportunidades de desarrollo de las poblaciones.

Este enfoque permite analizar cómo las dinámicas urbanas influyen en los territorios rurales, cómo responden las comunidades a los cambios en su entorno y qué tan resilientes pueden ser los territorios frente a perturbaciones ambientales o climáticas.

Desde esta perspectiva, el gradiente urbano-rural puede entenderse como un sistema socioecológico, en el que interactúan procesos ecológicos, económicos, culturales y de gobernanza. La sostenibilidad de las ciudades depende en gran medida de la salud de los ecosistemas rurales y periurbanos que las rodean mientras que el desarrollo rural también se ve influido por su relación con los centros urbanos.

Comprender estas interrelaciones permite formular preguntas clave para la gestión territorial: ¿cómo se relacionan las comunidades con su entorno?, ¿cómo influyen las decisiones urbanas en los territorios rurales? ¿qué servicios ecosistémicos dependen de mantener gradientes funcionales y conectados?

Responder a estas preguntas permite diseñar políticas públicas más equilibradas, integrales y sensibles a las realidades locales. En este sentido, el enfoque socioecológico permite orientar instrumentos de política pública relacionado con el ordenamiento territorial, la gestión del agua, la conservación de la biodiversidad y la adaptación al cambio climático.

UNA MIRADA INTEGRADORA DEL GRADIENTE

Estas perspectivas no operan de manera aislada. En el gradiente urbano-rural se entrelazan múltiples procesos: la pérdida de vegetación puede incrementar la temperatura superficial; el aumento de temperatura afecta la salud y el bienestar de las poblaciones; las desigualdades sociales influyen en los lugares donde se expande la urbanización; y esta expansión vuelve a transformar los ecosistemas.

Comprender esta red de interacciones es fundamental para abordar los problemas socioambientales de manera integral. El enfoque de gradientes permite reconocer la continuidad entre ciudad y campo y ofrece una base sólida para desarrollar estrategias de planificación territorial que integren la conservación de los ecosistemas, la reducción de riesgos climáticos y el bienestar de las comunidades a lo largo de todo el territorio.

PLANIFICACIÓN TERRITORIAL BASADA EN GRADIENTES

La planificación territorial tradicional tiende a dividir el espacio en zonas funcionales relativamente homogéneas: urbanas, rurales industriales o agrícolas. Sin embargo, el gradiente urbano-rural muestra que el territorio opera como un continuo, en el que los procesos ecológicos y sociales trascienden límites administrativos y categorías rígidas.

Una planificación basada en gradientes reconoce que las zonas urbanas, periurbanas y rurales forman parte de un mismo sistema interdependiente. Diversas iniciativas regionales, como las promovidas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018), subrayan la necesidad de integrar la valoración de los servicios ecosistémicos y la conservación de la biodiversidad en la planificación urbana y territorial, con el fin de mitigar los efectos del cambio climático y reducir el crecimiento desordenado.

Incorporar esta perspectiva en la política pública favorece decisiones que:

- Integran la conservación y restauración de ecosistemas en el ordenamiento territorial;
- Previenen la ocupación de áreas de riesgo, como zonas inundables o inestables;

- Reconocen el valor de los servicios ecosistémicos para el bienestar humano;
- Incorporan criterios ecológicos en la zonificación y en el diseño del territorio;
- Fortalecen la conectividad ecológica mediante infraestructura verde.

En distintos países, este enfoque comienza a reflejarse en instrumentos de política pública relacionados con el ordenamiento territorial, la planificación urbana sostenible, la gestión de cuencas y la adaptación al cambio climático. Este enfoque permite articular estrategias como la gestión forestal urbana y periurbana, la protección de cuencas, la restauración de áreas degradadas y el diseño de corredores biológicos dentro de un marco coherente que reconoce la interdependencia funcional entre ciudad y campo.

CONCLUSIONES

Concebir el territorio como un gradiente urbano-rural permite superar la visión rígida que separa de manera tajante la “ciudad” del “campo” y reconocer que los desafíos ambientales, sociales y ecológicos están profundamente interconectados. Los espacios intermedios –donde convergen bosques, comunidades rurales, desarrollos habitacionales, infraestructura vial y áreas productivas – adquieren un papel estratégico para anticipar riesgos, conservar la biodiversidad y mejorar las condiciones de vida de las poblaciones que los habitan.

Asumir el territorio como un continuo facilita la toma de decisiones más informadas. Posibilita diseñar ciudades más resilientes, proteger zonas naturales clave, fortalecer la participación comunitaria y equilibrar el crecimiento urbano con la funcionalidad ecológica y social de su entorno rural. La clave radica en reconocer el valor específico de cada tramo del gradiente –urbano, periurbano y rural- y gestionarlo con criterios de sostenibilidad, equidad, conservación del patrimonio natural y respeto a la diversidad cultural.

Reconocer el gradiente urbano-rural como un sistema socioecológico ofrece una base conceptual para diseñar políticas territoriales más integradas, capaces de articular la conservación de los ecosistemas con el



bienestar de las comunidades en un contexto de urbanización acelerada y cambio climático.

Literatura citada

- Ali, I.; Rahman, A. (2024) Urbanization: an overview of causes, effects and sustainability. *Quest Journals. Journal of Research in Humanities and Social Science*, 12, 153-157. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:272651383>
- Angel, S. (2023) Urban expansion: theory, evidence and practice. *Buildings and Cities*, 4, 124–138. <https://doi.org/10.5334/bc.348>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat), & Foro de Ministros y Máximas Autoridades de Vivienda y Urbanismo de América Latina y el Caribe (MINURVI). (2018) *Plan de acción regional para la implementación de la Nueva Agenda Urbana en América Latina y el Caribe, 2016-2036*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42144-plan-accion-regional-la-implementacion-la-nueva-agenda-urbana-america-latina>
- González-Arellano, S.; Larralde-Corona, A.H.; Cruz-Bello, G. (2021) El periurbano en México: identificación y caracterización sociodemográfica y territorial. *Papeles de Población*, 27, 119-145. <https://doi.org/10.22185/24487147.2021.108.14>
- Inostroza L. (2017) Informal urban development in Latin American urban peripheries. Spatial assessment in Bogotá, Lima and Santiago de Chile. *Landscape and Urban Planning*, 165, 267-279. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.021>
- Inostroza, L.; Baur, R.; Csaplovics, E. (2013) Urban Sprawl and fragmentation in Latin America: A dynamic quantification and characterization of spatial patterns. *Journal of Environmental Management*, 115, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.007>
- Hahs, A.K.; McDonnell, M.J. (2006) Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban-rural gradient. *Landscape and Urban Planning*, 78, 435-448. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.12005>
- Kageyama, S.; Saito, T.; Tajima, Y.; et al. (2026) Human-nature connectedness is positively correlated with the perceived value of nature regardless of urbanization levels. *Sustainability Science*, 21, 485-502. <https://doi.org/10.1007/s11625-024-01563-w>
- McDonnell, M.J.; Pickett, S.T.A. (1990) Ecosystem structure and function along urban–rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71, 1232–1237. <https://doi.org/10.2307/1938259>
- McDonnell, M.J.; Pickett, S.T.A.; Groffman, P.; et al. (1997). Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. *Urban Ecosyst*, 1, 21–36. <https://doi.org/10.1023/A:1014359024275>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Open AI. (2026) *Tendencias de la población mundial urbana y rural entre 1950 y 2050 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division [UN, DESAL], 2019)*. [Imagen generada por inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>
- Open AI. (2026) *Perfil del gradiente urbano rural en donde puede observarse el cambio gradual en las condiciones socioecológicas y de infraestructura gris*. [Imagen generada por inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>
- Open AI. (2026) *Distribución de la temperatura superficial en el gradiente urbano-rural*. [Imagen generada por inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>
- Seto K.C.; Güneralp, B.; Hutyra, L.R. (2012) Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), & Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2020). *Sistema Urbano Nacional 2020*. Gobierno de México, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/951564/SUN_2020_ParteI.pdf
- Soni H.; Kant, R.; Kumar, S. (2025) Global impact of urbanization ecosystems: a comprehensive bibliometric analysis. *Natural Hazards Research*, 5, 21-35. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.04.001>



United Nations (2025) World Urbanization Prospects 2025: Summary of results. UN DESA/POP/2025/TR/NO. 12. New York: United Nations.

<https://population.un.org/wup/assets/Publications/undesapd2025wup2025summaryofresultsfinal.pdf>

United Nations (2019) Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World urbanization prospects: The 2018 revision*. United Nations.

<https://population.un.org/wup/>

Urban M.C.; Alberti, M.; De Meester, L.D.; et al. (2024) Interactions between climate change and urbanization will shape the future diversity. *Nature Climate Change*, 14, 436-447.

<https://doi.org/10.1038/s41558-024-01996-2>

Vizzari M.; Sigura, M.; Antognelli, S. (2015) Ecosystem services demand, supply, and budget along the urban-rural-natural gradient. En *Proceedings of the Symposium "Actual Task on Agricultural Engineering"* (Opatija, Croatia).

[file:///C:/Users/MPS/Downloads/Vizzari etal 2015 Ecosystem Services Urban Rural Natural Gradient ATA.E.pdf](file:///C:/Users/MPS/Downloads/Vizzari%20etal%202015%20Ecosystem%20Services%20Urban%20Rural%20Natural%20Gradient%20ATAE.pdf)





Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

Influencia de la urbanización en los gradientes de calor urbano: un enfoque socioecosistémico

Influence of urbanization on urban heat gradients: a socio-ecosystem approach

Tomás Martínez-Trinidad ¹, Marlín Pérez-Suárez ^{2,*}, José Antonio de la Cruz-Hernández ³,
Demetrio Castelán-Urquiza ³

¹ Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, 56264, Estado de México, México.

² Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, 50295, Toluca, Estado de México, México.

³ Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Carretera Federal Valle de Bravo Km. 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, 51200, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: mperezs@uaemex.mx

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

27/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

El crecimiento urbano ha transformado significativamente las condiciones ambientales y climáticas del territorio, favoreciendo la formación de islas de calor urbano, caracterizadas por temperaturas más elevadas en zonas densamente urbanizadas. Este fenómeno se relaciona con la sustitución de la vegetación por superficies impermeables, incrementando la absorción de energía solar. Desde una perspectiva territorial, estas variaciones pueden analizarse mediante el gradiente urbano-rural, donde interactúan cambios en el uso del suelo, la cobertura vegetal y las dinámicas sociales. Este artículo presenta una revisión divulgativa sobre los procesos que originan las islas de calor urbano, sus principales implicaciones socioambientales y el papel de la vegetación como regulador térmico. Asimismo, se destacan estrategias de mitigación basadas en infraestructura verde y planificación urbana, enfatizando la necesidad de enfoques socioecosistémicos para el diseño de ciudades más sostenibles, equitativas y resilientes.

Palabras clave: adaptación climática, gradiente térmico social, isla de calor urbano, socioecosistema, urbanización, uso del suelo.

ABSTRACT

The rapid growth of cities has significantly transformed the environmental and climatic conditions of territories. One of the most evident phenomena associated with this process is the formation of urban heat islands, characterized by higher temperatures in densely urbanized areas compared to surrounding rural zones. This phenomenon is primarily driven by the replacement of vegetation and natural soils with impermeable surfaces, such as asphalt and concrete, which absorb and store greater amounts of solar energy. From a territorial perspective, these thermal differences can be understood through the urban-rural



gradient, which describes the progressive decrease in temperature from urban cores toward peri-urban, agricultural and forested areas. Along this gradient, changes occur in vegetation cover, land use, infrastructure density, and human activities, all of which directly influence the spatial distribution of heat. This article presents an outreach-oriented review of the processes that generate urban heat islands, their main socio-environmental impacts, and the role of urban vegetation as a thermal regulator. It also discusses mitigation strategies based on green infrastructure and urban planning, highlighting the importance of integrating natural elements on green infrastructure and urban planning, highlighting the importance of integrating natural elements into the design of more sustainable, equitable, and resilient cities.

Keywords: climate adaptation, land use, social thermal gradient, socio-ecosystem, urban heat island, urbanization.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la urbanización se ha consolidado como uno de los procesos de transformación territorial más importantes a escala global, concentrando a más de la mitad de la población mundial en ciudades y modificando de manera profunda la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Este crecimiento urbano acelerado ha traído consigo múltiples beneficios en términos de desarrollo económico y acceso a servicios, pero también ha generado nuevos desafíos ambientales, entre ellos la alteración de los climas locales y el incremento de riesgos asociados a eventos extremos, particularmente las olas de calor. En un contexto de cambio climático, las ciudades se han convertido en espacios críticos donde se intensifican las interacciones entre procesos atmosféricos, transformaciones del paisaje y dinámicas sociales.

El calentamiento urbano, por otra parte, no afecta de manera homogénea a toda la población. Diversos estudios han señalado que los impactos del calor extremo tienden a concentrarse en los grupos sociales más vulnerables, debido a diferencias en la calidad de la vivienda, el acceso a áreas verdes, la disponibilidad de servicios urbanos y la capacidad de adaptación. De este modo, el calor urbano no solo constituye un problema ambiental o climático, sino también un desafío social y territorial que pone en evidencia desigualdades preexistentes en la estructura de las ciudades.

La urbanización es un proceso complejo que reconfigura paisajes y formas de vida, generando no solo cambios

físicos en el ambiente sino también nuevas dinámicas socioeconómicas. Uno de los fenómenos ambientales más visibles asociados a este proceso es la formación de gradientes de calor urbano (Figura 1), definidos como variaciones de temperatura en el espacio urbano que responden a cambios en el uso del suelo, la densidad de infraestructura y otros factores antropogénicos (Chen et al., 2025). Estos gradientes no son uniformes: áreas con menor cobertura vegetal y mayor presencia de superficies impermeables tienden a registrar mayores temperaturas que zonas periféricas o menos densamente urbanizadas.

Desde una perspectiva tradicionalmente física, este fenómeno se ha interpretado como el resultado del efecto de isla de calor urbano. Sin embargo, la temperatura en las ciudades también está modulada por factores socioecosistémicos, como la distribución desigual de recursos, la estructura económica y las prácticas culturales de uso del territorio (Hsu et al., 2021). Entender los gradientes térmicos como intersecciones entre procesos ambientales y sociales permite abordar no solo las causas físicas de su generación, sino también las desigualdades en exposición y vulnerabilidad térmica entre diferentes grupos sociales (Hsu et al., 2021; Lee et al., 2025).

Este artículo propone una visión integradora, donde la urbanización se entiende como un gradiente tanto térmico como social, en el que cada escala, desde la parcela hasta la metrópolis, refleja interacciones dinámicas entre componentes físicos y humanos.



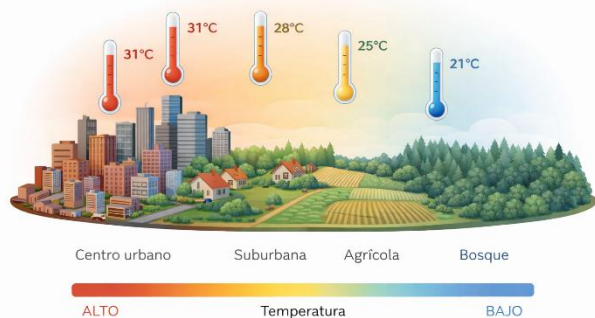


Figura 1. Gradiente urbano-rural de temperatura en un gradiente urbano rural. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI, 2026).

En este contexto, el concepto de gradiente urbano-rural se convierte en una herramienta analítica fundamental para comprender cómo las transformaciones del paisaje urbano modifican la distribución espacial del calor. A lo largo de este gradiente, desde los centros urbanos densamente construidos hasta las zonas rurales circundantes, se observan cambios progresivos en la cobertura vegetal, el uso del suelo, la densidad de infraestructura y las condiciones socioeconómicas, factores que en conjunto configuran la intensidad y distribución de los gradientes térmicos urbanos.

FUNDAMENTOS DEL GRADIENTE DE CALOR URBANO

La urbanización transforma superficies naturales en entornos dominados por materiales de alta capacidad térmica (asfalto, concreto, etc.), alterando la balanza energética del paisaje. La reducción de vegetación disminuye la evapotranspiración mientras aumenta la absorción de radiación solar, promoviendo temperaturas superficiales y ambientales más elevadas (Phelan et al., 2015). Estos cambios se traducen en gradientes de calor que suelen intensificarse hacia el centro de la ciudad, donde la densidad de infraestructura es mayor. En conjunto, los gradientes de calor urbano resultan de la interacción entre factores físicos, urbanos y sociales que operan a distintas escalas. Los componentes presentados en la Tabla 1 se sustentan en evidencia científica que demuestra que los gradientes de calor urbano resultan de la interacción entre factores biofísicos, urbanos y

socioeconómicos. La cobertura vegetal y los materiales urbanos influyen directamente en la regulación térmica (Bowler et al., 2010; Phelan et al., 2015), mientras que la morfología urbana modula la acumulación de calor (Li et al., 2017). A su vez la distribución desigual del ingreso y de la infraestructura verde genera patrones diferenciados de exposición y vulnerabilidad térmica (Hsu et al., 2021; Lee et al., 2025), en un contexto donde las decisiones políticas y la inversión pública contribuyen a reproducir o mitigar estas desigualdades (Anguelovski et al., 2016).

Tabla 1. Componentes socioecosistémicos de los gradientes de calor urbano (Integrada de Bowler et al., 2010; Lee et al., 2025; Phelan et al., 2015 y Shreevastava et al., 2025).

Dimensión	Factor clave	Mecanismo principal	Implicación socioambiental
Física	Cobertura vegetal	Mejor evapotranspiración	Reducción del estrés térmico
	Materiales urbanos	Mayor absorción de radiación	Incremento del calor urbano
Urbana	Densidad construida	Acumulación y retención de calor	Menor confort térmico
Social	Nivel socioeconómico	Acceso desigual a áreas verdes	Mayor vulnerabilidad térmica
Política	Inversión pública	Distribución desigual de infraestructura	Reproducción de inequidad espacial

La dimensión política de los gradientes térmicos se relaciona con los procesos de toma de decisiones, planificación urbana e inversión pública, los cuales influyen directamente en la distribución de la infraestructura verde. Diversos estudios han demostrado que estas decisiones pueden reproducir desigualdades socioespaciales, favoreciendo a ciertos grupos mientras excluyen a poblaciones vulnerables (Anguelovski et al., 2016)

Estos procesos no ocurren de manera uniforme en el territorio. Por el contrario, generan gradientes térmicos que siguen el patrón espacial de la urbanización, donde las temperaturas tienden a ser mayores en los centros urbanos densamente construidos y disminuyen

progresivamente hacia zonas periurbanas, agrícolas y forestales. Este patrón constituye lo que se conoce como gradiente urbano-rural de temperatura, ampliamente documentado en estudios de climatología urbana.

URBANIZACIÓN COMO PROCESO SOCIOECOSISTÉMICO

Más allá de los mecanismos físicos, la urbanización implica transformaciones profundas en el uso del suelo, la estructura económica y el modo de vida. Los patrones de desarrollo urbano están relacionados con decisiones políticas, mercado inmobiliario y distribución de la riqueza. Estos factores determinan qué áreas reciben inversiones en infraestructura verde, servicios y espacios públicos, influyendo en la configuración espacial de los gradientes térmicos. Por ejemplo, barrios con menor inversión pública suelen presentar menor cobertura vegetal y mayores superficies de concreto, elevando las temperaturas locales y exacerbando la vulnerabilidad de poblaciones con menos recursos para enfrentar eventos de calor extremo.

INTERACCIONES SOCIOESPACIALES Y DISTRIBUCIÓN DEL CALOR

Los gradientes térmicos urbanos reflejan desigualdades socioeconómicas que se manifiestan en la distribución espacial de infraestructura y servicios. Estudios han demostrado que dentro de áreas urbanas las poblaciones con menor ingreso y niveles socioeconómicos más bajos tienden a experimentar mayores exposiciones a intensidades de isla de calor urbano, debido a la distribución desigual de espacios verdes y el predominio de superficies impermeables (Hsu et al., 2021; Lee et al., 2025). Estas desigualdades no son homogéneas a escala global, sino que dependen de la configuración socioespacial de cada ciudad, particularmente de la distribución de infraestructura verde y de los patrones de urbanización (Lee et al., 2025). Áreas con menor capital económico tienden a tener menor capacidad adaptativa, enfrentando mayores riesgos de estrés térmico, problemas de salud y menor calidad de vida. Esto demuestra que los gradientes de calor son tanto un indicador ambiental como social, revelando patrones de inequidad territorial.

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN BASADAS EN UN ENFOQUE SOCIOECOSISTÉMICO

Para enfrentar los gradientes térmicos y sus consecuencias es crucial integrar acciones que combinen planificación urbana, gestión ambiental y políticas sociales. Estas acciones promueven no sólo la sostenibilidad ambiental sino también la justicia climática.



Figura 2. La presencia de árboles y áreas verdes reduce la temperatura mediante sombra y evapotranspiración, mejorando el confort térmico. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI, 2026).

La literatura científica indica que las estrategias más eficaces incluyen la expansión de infraestructura verde, como parques, corredores verdes, techos y muros vegetados, que incrementan la sombra y la evapotranspiración. Lo anterior, contribuye a la reducción de las temperaturas urbanas y al mejoramiento del confort térmico.

Por otra parte, el uso de materiales urbanos de alta reflectancia, como techos y pavimentos frescos, permiten disminuir la absorción de radiación solar y reducir las temperaturas superficiales y ambientales, siendo una de las estrategias más efectivas para la mitigación de las islas de calor urbano (Tun et al., 2025; Tabla 2).

Las estrategias de mitigación de las islas de calor en el gradiente urbano-rural (Tabla 2) se sustentan en evidencia científica que demuestra la efectividad de intervenciones basadas en infraestructura verde, materiales urbanos y diseño urbano. La vegetación urbana, en particular, reduce significativamente la temperatura mediante sombra y evapotranspiración (Bowler et al., 2010), mientras que la utilización de

materiales reflectantes en techos y pavimentos disminuye la absorción de la radiación solar (Tun et al., 2025). De la misma manera, el diseño urbano bioclimático favorece la ventilación y mejora el confort térmico (Emmanuel y Krüger, 2012), mientras que las estrategias sociales, como la educación climática y la adaptación comunitaria, fortalecen la resiliencia frente a eventos extremos (IPCC, 2022).

Tabla 2. Estrategias de mitigación de los gradientes de calor urbano desde un enfoque socioecosistémico (integrada de Bowler et al., 2010; Gill et al., 2007; Santamouris, 2013 y Tun et al., 2025; Emmanuel y Krüger, 2012; IPCC, 2022).

Tipo	Acción	Mecanismo	Beneficio social
Verde	Parques urbanos y arbolado	Sombra, evapotranspiración	Reducción de temperatura y bienestar
Material	Techos, pavimentos fríos	Mayor reflectancia solar	Menor acumulación de calor
Urbana	Diseño urbano bioclimático	Ventilación urbana	Mejora del confort térmico
Social	Educación climática	Adaptación comunitaria	Mayor resiliencia

Desde una perspectiva socioecosistémica, estas intervenciones deben complementarse con un diseño urbano inclusivo que priorice las zonas más vulnerables y garantice un acceso equitativo a los beneficios de la infraestructura verde y de las estrategias de enfriamiento urbano. Además, los programas comunitarios de educación y adaptación al calor, centrados en poblaciones de mayor riesgo, pueden fortalecer la capacidad adaptativa local, mejorar la respuesta ante eventos extremos e integrar el conocimiento social en la gestión del territorio. En conjunto, estas acciones no solo contribuyen a amortiguar los gradientes térmicos, sino que también promueven el bienestar urbano y la justicia ambiental al abordar simultáneamente los determinantes físicos y sociales del impacto térmico en las ciudades.

CONCLUSIONES

Los gradientes de calor urbano son el resultado de la interacción entre procesos físicos y sociales asociados a la urbanización. Analizarlos desde un enfoque socioecosistémico permite comprender cómo las transformaciones del territorio –como los cambios en el uso de suelo, la expansión de la infraestructura urbana y las dinámicas económicas- modifican el clima local. Estas transformaciones generan diferencias térmicas a lo largo del gradiente urbano-rural, donde las zonas densamente urbanizadas suelen presentar temperaturas más elevadas que las áreas periurbanas, agrícolas o forestales. Al mismo tiempo, estas variaciones térmicas pueden traducirse en desigualdades en la exposición y en la vulnerabilidad de la población frente al calor.

En este contexto, la urbanización debe entenderse como un proceso multidimensional que configura simultáneamente las condiciones ambientales y las condiciones de vida en las ciudades. Frente a estos desafíos, resulta fundamental impulsar estrategias integradas que combinen soluciones técnicas –como la incorporación de infraestructura verde y el diseño de urbano bioclimático- con políticas orientadas a la equidad social y a la gestión ambiental participativa. Este enfoque no solo contribuye a reducir los impactos térmicos en las ciudades, sino que también fortalece la resiliencia urbana y promueve formas de desarrollo más justas y sostenibles frente al cambio climático, lo que posiciona a los gradientes urbano-rurales como una herramienta clave para el diseño de ciudades más justas, resilientes y climáticamente adaptadas.

Literatura citada

- Anguelovski, I.; Shi, L.; Chu, E.; et al. (2016) Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: Critical perspective from the global North and South. *Journal of Planning Education and Research*, 36(2), 333-348. <https://doi.org/10.1177/0739456X16645166>
- Bowler, D.E.; Buyung-Ali, L.; Knight, T.M.; Pullin, A.S. (2010) Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>



- Chen, T.L.; Lin, Z.H.; Jheng, D.C. (2025) Spatial regression analysis of land use impact on land surface temperature in four East Asian metropolises. *Scientific Reports*, 15(22252), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07980-w>
- Emmanuel, R.; Krüger, E. (2012) Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Building and Environment*, 53, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.020>
- Gill, S.E.; Handley, J.F.; Ennos, A.R.; Pauleit, S. (2007) Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115-133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Hsu, A.; Sheriff, G.; Chakraborty, T.; Manya, D. (2021) Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities. *Nature Communications*, 12(2721), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22799-5>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Lee, J.; Yerim, L.; You, G.Y.; Santamouris, M. (2025) Contrasting urban heat disparities across income levels in Seoul and London. *Sustainable Cities and Society*, 121, 106215. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106215>
- Li, X.; Zhou, Y.; Asrar, G., Imhoff, M., Li, X. (2017) The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 605-60, 426-435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.229>
- Open AI. (2026) *Gradiente urbano-rural de temperatura en un gradiente urbano rural*. [Imagen generada por inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>
- Open AI. (2026) La presencia de árboles y áreas verdes reduce la temperatura mediante sombra y evapotranspiración, mejorando el confort térmico. [Imagen generada por inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>
- Phelan P.E.; Kaloush, K.; Miner, M.; et al. (2015) Urban heat island: mechanisms, implications, and possible remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 285-307. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155>
- Rascón Villanueva, A. E.; Cervantes Rendón, E. (2022) Vulnerabilidad social y clima extremo en estudios de América Latina. 2000-2019. *Tlalli. Revista de Investigación en Geografía*, (8), 6-32. <https://doi.org/10.22201/ffyl.26832275e.2022.8.1801>
- Shreevastava, A., Hulley, G.; Prasanth, S.; et al. (2025) Contemporary income inequality outweighs historic redlining in shaping intra-urban heat disparities in Los Angeles. *Nature Communications*, 16(4950), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59912-x>
- Tun K.Z.; Pramanik, M.; Mallick, S.K.; et al. (2025) Cooling the cities: A comprehensive review of urban heat island mitigation strategies in Southeast Asia. *Human Settlements and Sustainability*, 1(2), 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.hssust.2025.05.002>





Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

Aulas digitales verdes: tecnología para difundir el conocimiento sobre procesos ecológicos y problemas socioambientales

Green digital classrooms: technology for disseminating knowledge on ecological processes and socio-environmental issues

René García-Martínez ¹, Tomás Martínez-Trinidad ^{2,*}, Patricia Hernández-de la Rosa ², Luis Alberto León-Bañuelos ¹

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Carretera Federal Valle de Bravo Km. 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, 51200, Estado de México, México.

² Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, 56264, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: tomtz@colpos.mx

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

27/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

Las aulas digitales verdes surgen como una propuesta educativa innovadora que une lo mejor de dos mundos: el aprendizaje directo en la naturaleza y el potencial de las tecnologías digitales. Funcionan mediante la integración de componentes clave: sistemas de energía limpia y autónomos, bibliotecas digitales con o sin conexión a internet y dispositivos de bajo consumo. Este ecosistema permite que niñas, niños, jóvenes y comunidades exploren fenómenos ambientales en el gradiente urbano-rural, un territorio diverso donde los desafíos y la forma de aprender cambian drásticamente. Ante la crisis climática global, estas aulas actúan como laboratorios de resiliencia: en las ciudades, ayudan a monitorear las islas de calor, calidad del aire, la movilidad y la gestión de residuos; en las zonas periurbanas, permiten gestionar el ordenamiento territorial; y en las zonas rurales, se vuelven vitales para combatir la deforestación y mejorar la producción agrícola. Al utilizar herramientas tecnológicas, los estudiantes dejan de ser espectadores para convertirse en científicos ciudadanos capaces de generar datos locales, fundamentales para entender y mitigar los efectos del calentamiento global en su propia comunidad. A lo largo de este artículo, se muestran ejemplos que ilustran las aulas digitales verdes fomentan el aprendizaje y generan beneficios socioambientales tangibles al adaptar la enseñanza a la emergencia climática de cada territorio. También se reconocen desafíos críticos, como la brecha en infraestructura tecnológica y la urgencia de formación docente. Al final, la propuesta invita a imaginar una educación ambiental más participativa e inclusiva, capaz de motivar acciones locales orientadas a construir territorios más sostenibles.

Palabras clave: comunidades rurales y urbanas, disturbios ambientales, educación ambiental; sostenibilidad; tecnologías digitales.

ABSTRACT

Green digital classrooms emerge as an innovative educational proposal that brings together the best of two worlds: direct learning in nature and the potential of digital technologies.



They operate through the integration of key components: clean and autonomous energy systems, digital libraries available with or without internet access, and low-energy devices. This ecosystem enables children, youth, and communities to explore environmental phenomena across the urban-rural gradient -a diverse territory where challenges and learning methods change significantly-. In the context of the global climate crisis, these classrooms function as laboratories of resilience: in cities, they help monitor urban heat islands, air quality, mobility, and waste management; in peri-urban areas, they support territorial planning and management; and in rural areas, they become essential for combating deforestation and improving agricultural production. By using technological tools, students move from being passive observers to becoming citizen scientists capable of generating local data, which is essential for understanding and mitigating the effects of global warming within their own communities. Throughout this article, examples illustrate that green digital classrooms foster learning and generate tangible socio-environmental benefits by adapting education to the climate emergency of each territory. Critical challenges are also acknowledged, such as gaps in technological infrastructure and the urgent need for teacher training. Ultimately, this proposal invites us to envision a more participatory and inclusive environmental education, capable of motivating local actions aimed at building more sustainable territories.

Keywords: digital technologies, environmental education, environmental disturbances, rural and urban communities, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Para el año 2050 se estima que la población mundial alcanzará aproximadamente 9,700 millones de personas, un incremento que intensificará las presiones sobre los sistemas socioecológicos a lo largo del gradiente urbano-rural. En este contexto, la humanidad enfrenta desafíos ambientales de creciente complejidad —como la degradación de ecosistemas, la escasez de recursos y la expansión desordenada de asentamientos— que amenazan su estabilidad y continuidad a mediano y largo plazo. Comprender estas dinámicas territoriales resulta fundamental para anticipar impactos, orientar la planificación y fortalecer la resiliencia de los paisajes que integran ciudades, zonas periurbanas y áreas rurales.

Existe la necesidad de mejorar la comunicación de la investigación científica por medio de la transferencia del conocimiento entre investigadores y la sociedad en general (Sánchez-Esparza, 2022; García-Rodríguez et al., 2022). Aunque se ha generado información científica sobre las causas y consecuencias de los problemas ambientales, el conocimiento aún está restringido a los espacios académicos, lo que limita su apropiación social (Piedrahita-Hoyos y Torres-López, 2023; Sánchez-Esparza, 2022). Una vía para incrementar esto último es la educación ambiental, a través de la cual se haga llegar

la información sobre estas problemáticas, sus implicaciones y consecuencia a la población. Por tanto, es imprescindible que en la formación de los estudiantes de todos los niveles educativos se implementen estrategias de enseñanza aprendizaje bajo este contexto con la finalidad de prevenir y mitigar los impactos de dichos problemas ambientales. La educación ambiental efectiva requiere estrategias que conecten la ciencia con la vida cotidiana, especialmente en contextos rurales y urbanos donde la degradación ambiental impacta directamente el bienestar de las comunidades (UNESCO, 2021). Existe una marcada desigualdad en el acceso a la información y a la infraestructura tecnológica entre zonas rurales, urbanas y periurbanas, lo que limita el aprendizaje digital en contextos marginados. Las aulas digitales verdes ofrecen una oportunidad para reducir esta brecha, ya que en zonas rurales y marginadas facilitan el acceso educativo mediante soluciones sostenibles y adaptadas a entornos con baja conectividad, mientras que en áreas urbanas su principal aporte es la innovación y la eficiencia. Sin embargo, los estudiantes rurales no tienen el mismo acceso a la información que los urbanos, lo que evidencia que la equidad digital sigue siendo un reto territorial y socioeconómico.



Estas herramientas pueden acercar el aprendizaje ambiental a estudiantes de diferente nivel escolar, docentes y ciudadanía a lo largo de todo el gradiente urbano-rural. El uso de la tecnología en la enseñanza promueve el aprendizaje activo, la experimentación y la comprensión de fenómenos complejos mediante experiencias visuales, interactivas y colaborativas (Piedrahita-Hoyos y Torres-López, 2023; Valenzuela-Zambrano y Aranda-Pérez, 2024). A través de recursos como imágenes satelitales, videos, simulaciones o aplicaciones móviles, los estudiantes pueden analizar el cambio de cobertura arbórea, medir temperaturas, o explorar la calidad del aire en su entorno (Valenzuela-Zambrano y Aranda-Pérez, 2024). Así, estas aulas constituyen un puente entre la ciencia, la educación y la sociedad, al facilitar que las personas comprendan cómo sus decisiones cotidianas influyen en la salud del planeta (Environmental Education, 2024). En suma, la convergencia entre la tecnología, educación y el ambiente puede reducir brechas de acceso al conocimiento y contribuir a la construcción de una sociedad más participativa para abordar los desafíos ecológicos que enfrenta el planeta. Este artículo expone el potencial de las aulas digitales verdes como estrategia de educación ambiental, tanto en entornos rurales como urbanos y su papel en la construcción de una sociedad más informada y sostenible.

LA CRISIS AMBIENTAL Y LA EDUCACIÓN

La humanidad enfrenta una crisis ambiental, caracterizada por la contaminación del aire, del agua y del suelo, resultado del uso intensivo de combustibles fósiles, procesos industriales y prácticas agrícolas insostenibles (Fletcher et al., 2024). En el gradiente urbano-rural existen desafíos ambientales distintos pero interconectados: en las ciudades, los problemas principales son la contaminación del aire por el transporte, las islas de calor causadas por el asfalto y la acumulación masiva de residuos sólidos. Las zonas periurbanas, al ser espacios de transición, sufren una presión intensa por el crecimiento inmobiliario desordenado, lo que provoca la pérdida de suelos agrícolas y la contaminación de mantos acuíferos por falta de drenaje adecuado. Finalmente, en las zonas rurales, los mayores riesgos se encuentran en la deforestación, la degradación de los suelos por prácticas agropecuarias intensivas, la escasez de agua debido al

cambio climático y la pérdida de biodiversidad por el avance de la frontera agrícola. De no replantearse las bases del modelo de producción económico predominante, las consecuencias ambientales se intensificarán limitando las posibilidades de bienestar humano y desarrollo futuro (Acheampong y Osei-Opoku, 2023).

Para cambiar el panorama deben integrarse planes de educación ambiental en las escuelas adaptados a las condiciones del entorno, ya que, actualmente en la ciudad, el enfoque educativo suele centrarse en la alfabetización digital avanzada y el acceso a grandes infraestructuras, aunque a menudo desconectado del entorno natural; en las zonas de transición de urbano a rural, la enseñanza actúa como un puente crítico que busca integrar la identidad rural con las demandas tecnológicas de la ciudad, enfrentando retos de movilidad y recursos limitados. Por su parte, en los pueblos, la educación se vuelve una herramienta de resistencia y arraigo, donde el aprendizaje vivencial sobre el territorio y la gestión de recursos naturales son vitales, pero donde la brecha de conectividad exige modelos más autónomos y creativos.

En cualquier caso, la crisis ambiental global exige un cambio de paradigma en la educación. Al respecto, las experiencias educativas basadas en contacto directo con la naturaleza no solo incrementan el conocimiento ambiental de las personas, sino que fortalecen significativamente su conexión emocional con los recursos naturales (Otto y Pensini, 2017). Por ejemplo, observar las características de las plantas en su entorno facilita su identificación (Figura 1). Aunque existe una disminución de la diversidad biológica conforme se avanza hacia el entorno urbano, es posible encontrar áreas de aprendizaje. En zonas rurales los alumnos cuentan con un entorno natural donde es accesible asistir al bosque, ríos o parcelas agrícola y, en los entornos urbanos, existen parques metropolitanos y jardines botánicos para aprender fundamentos de biología.





Figura 1. Aprendizaje inmersivo en un bosque templado para la identificación de especies de pino.

AULAS DIGITALES VERDES: UNA NUEVA FORMA DE APRENDER

Las TIC como recursos digitales, han transformado la educación al crear entornos más flexibles y colaborativos que impulsan metodologías activas, fortalecen autoaprendizaje y facilitan la evaluación continua, reduciendo además las barreras de tiempo y distancia en los procesos formativos (Wang et al., 2024). En la educación ambiental, su papel es fundamental para facilitar la observación, análisis y reflexión sobre procesos naturales. Por ejemplo, la FAO (siglas en inglés de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) ofrece cursos digitales gratuitos sobre distintos temas de desarrollo sostenible (FAO, 2025), a los cuales se puede acceder de manera gratuita desde cualquier parte del mundo.

Un caso aplicado de vinculación entre tecnología y los recursos naturales con fines educativos, es el monitoreo de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) en el centro de México. En este proyecto ha participado la población aledaña, estudiantes y especialistas que, al interactuar entre sí en un ambiente natural, se apropian del conocimiento y participan activamente en el cuidado y restauración de los bosques donde hiberna la mariposa monarca. La información generada se utiliza para crear contenido digital que es integrada a plataformas de ciencia ciudadana y que se difunde a nivel mundial como herramienta educativa (WWF, 2022). En este caso las TIC ofrecen una oportunidad única para acercar el conocimiento ambiental a la población, combinando lo

ambiental con lo digital (Piedrahita-Hoyos y Torres-López, 2023).

Tabla 1. Casos exitosos de esquemas de educación de aulas digitales verdes en México.

Actividad	Participantes	Aplicación de las TIC
Identificación de hongos comestibles	Pobladores, estudiantes y Especialistas	Catálogos digitales de hongos (UNAM, 2021).
Identificación de plantas	Población en general y especialistas	Catálogo digital de plantas (iNaturalist México, 2025).
Descripción de la biodiversidad mexicana	Científicos, Público en general, Instituciones públicas.	Información de la biodiversidad en México (CONABIO, 2020).

Las aulas digitales verdes vinculan la tecnología con la naturaleza, lo cual promueve experiencias significativas de aprendizaje donde el estudiante se reconoce como parte del sistema ecológico. En comunidades rurales, apoyan la comprensión del manejo del agua, conservación de suelos y el conocimiento de la biodiversidad (Otto y Pensini, 2017; UNESCO, 2121). En contextos urbanos, facilitan la reflexión sobre la gestión de residuos, la contaminación del agua y aire, así como el valor del arbolado urbano mediante el uso de herramientas digitales, mapas y simuladores interactivos (Valenzuela-Zambrano y Aranda-Pérez, 2024; Environmental Education, 2024). En ambos casos, la tecnología actúa como puente entre la ciencia y la realidad cotidiana (Piedrahita-Hoyos y Torres-López, 2023).

IMPACTOS, BENEFICIOS Y DESAFÍOS

El impacto de las aulas digitales verdes trasciende la forma tradicional de enseñar. La naturaleza se vuelve un laboratorio vivo y la tecnología se usa para reforzar el

aprendizaje y compartir el conocimiento. Fortalecen la conciencia ambiental al permitir que los estudiantes comprendan los efectos de los fenómenos naturales mediante experiencias inmersivas, lo cual fomenta el pensamiento crítico y la participación social (UNESCO, 2021). Estas iniciativas también promueven la colaboración entre docentes, familias y comunidades, al desarrollar proyectos de ciencia ciudadana sobre la biodiversidad o calidad del agua (Environmental Education, 2024).

Entre los beneficios más destacados se encuentran la integración de la educación ambiental en zonas con limitado acceso a recursos, la motivación estudiantil y la contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 4 (educación de calidad) y el ODS 13 (acción por el clima). No obstante, los retos siguen siendo significativos. La brecha digital y la falta de conectividad dificultan la implementación de aulas digitales, especialmente al comparar entornos en muchos contextos (Li, 2024). Particularmente, en comunidades marginadas y rurales donde no hay energía eléctrica y menos aún conectividad, o bien esta es escasa o en comparación con las áreas urbanas. Esto impide el cumplimiento del ODS 10 (Reducción de las desigualdades), que plantea la inclusión social, económica y política para todos, garantizando la igualdad de oportunidades y recursos para las personas más vulnerables. En este sentido, para que un aula digital verde funcione en áreas marginadas, lo básico es crear una "isla tecnológica" independiente. Esto se logra con sistemas autónomos de energía (paneles solares) para tener electricidad propia, usando una biblioteca digital portátil y una señal inalámbrica para que los alumnos se conecten a esos contenidos o lo vean a través de una pantalla.

Asimismo, la capacitación docente es clave para garantizar el uso eficiente de las TIC en la enseñanza. Las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y los sensores mejoran los resultados educativos (Zhang et al., 2024), especialmente en aulas digitales verdes. En el entorno urbano, estas tecnologías facilitan el uso de sensores para medir el smog y la isla de calor, usando la inteligencia artificial para proponer rutas de transporte limpias o diseñar corredores biológicos en azoteas. En el entorno rural, el uso de realidad aumentada ayudaría a visualizar la salud de los bosques y el flujo del agua en cuencas, mientras que sensores inteligentes optimizan el

riego y la nutrición de cultivos para evitar el agotamiento del suelo. En ambos escenarios se logra una mejora en la calidad de vida de la población.

CONCLUSIONES

Las aulas digitales verdes representan una vía innovadora para enseñar y aprender sobre el ambiente en la era digital, convirtiéndose en laboratorios dinámicos donde se analizan y resuelven escenarios críticos del cambio climático. Mediante el uso de tecnología, los estudiantes pueden monitorear y mitigar el impacto de sequías e inundaciones, así como gestionar la presencia de plagas en bosques y agroecosistemas, transformando la teoría en soluciones prácticas para proteger la biodiversidad y la producción agrícola. Su valor en la educación radica en vincular la tecnología con el medio ambiente para inspirar acciones locales que contribuyan a la sostenibilidad. Más allá de incorporar dispositivos electrónicos o plataformas digitales, este enfoque invita a repensar la educación como un proceso participativo, creativo y comprometido con el entorno. Si las TIC se utilizan con equidad y propósito ecológico, pueden convertirse en una herramienta para formar generaciones con conciencia ambiental capaces de construir un futuro más justo y sostenible.

Agradecimientos

A la Red para la Generación de Conocimiento e Incidencia sobre Socio-ecosistemas en el Gradiente Urbano-Rural (ReGISeGUR) por contribuir en la integración del documento. A las LGAC: Tecnologías para la educación ambiental (TESVB) y Mejoramiento Estructural y Funcional de los Ecosistemas Forestales (COLPOS).

Literatura citada

- Acheampong, A.O.; Osei-Opoku, E.E.O. (2023) Environmental degradation and economic growth: Investigating linkages and potential pathways. *Energy Economics*, 123, 106734. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106734>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020) *Biodiversidad Mexicana*. CONABIO, <https://www.biodiversidad.gob.mx/>



- Environmental Education (2024) A systematic review on the use of digital tools for fostering sustainability awareness. *Sustainability*, 16(9), 3733. <https://doi.org/10.3390/su16093733>
- Fletcher, R.; Anderson, W.; Büscher, B.; Brockington, D. (2024) Earth at risk: An urgent call to end the age of destruction and exploitation. *PNAS Nexus*, 3(4), pga106. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae106>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025) Cursos de autoaprendizaje – FAO Campus. <https://www.fao.org/in-action/fao-campus/training-activities/self-paced-courses/2/es>
- García-Rodríguez, L.C.; Torres-Sanmiguel, A.F.; Guerrero-Gaviria, D.A.; Carreño-Moreno, S.; Chaparro-Díaz, L. (2022) Estrategias de apropiación social del conocimiento en salud: revisión sistemática. *Revista Ciencias de la Salud*, 20(3), 1–20. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.11587>
- iNaturalist Mexico. (2025) *Plantas Nativas México* [Lista: 927098]. <https://mexico.inaturalist.org/lists/927098-Plantas-Nativas-M-xico>
- Li, M. (2025). Exploring the digital divide in primary education: A comparative study of urban and rural mathematics teachers' TPACK and attitudes towards technology integration in post-pandemic China. *Education and Information Technologies*, 30, 1913–1945. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12890-x>
- Otto, S.; Pensini, P. (2017) Nature-based environmental education of children: Environmental knowledge and connectedness to nature, together, are related to ecological behaviour. *Global Environmental Change*, 47, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.09.009>
- Piedrahita-Hoyos, K.; Torres-López, A.D.V. (2023) Mediaciones tecnológicas en educación ambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 4634–4647. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4787
- Sánchez-Esparza, N.C. (2022) Los servicios ambientales. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 23(2). Disponible en: <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.12>
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2021). Hongos comestibles y tóxicos de México. [Online] Disponible en: <https://hongoscomestiblesytotoxicos.ib.unam.mx/>
- The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2021) Reimagining our futures together: A new social contract for education. Paris: UNESCO.
- Valenzuela-Zambrano, B.; Aranda-Pérez, L. (2024) ¿Las TIC pueden contribuir al aprendizaje de las 3R y el cuidado del medio ambiente? *UTE Revista de Ciències de l'Educació*, 4(2), 42–57. Disponible en: <https://revistes.urv.cat/index.php/ute/article/view/3681>
- Wang, C.; Liu, Y.; Zhang, H.; Chen, L. (2024) Education reform and change driven by digital technology. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-02717-y>
- World Wildlife Found (WWF). (2022). La Era del Cambio: la restauración del hábitat de la mariposa Monarca [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Mzft35_qg2g
- Zhang, X., Ding, Y., Huang, X., Li, W., Long, L., & Ding, S. (2024) Smart classrooms: How sensors and AI are shaping educational paradigms. *Sensors*, 24(17), 5487. <https://doi.org/10.3390/s24175487>





Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

Biotecnología para la resiliencia en el gradiente urbano-rural

Biotechnology for resilience in the urban-rural gradient

Ángel Roberto Martínez-Campos ^{1,*}, Lizbeth Carrillo-Arizmendi ^{1,2}, Mariana Carolyn Cruz-Mendoza ³, Gabriela González-Vazquez ³

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, 50295, Estado de México, México.

² Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México, 50295, Estado de México.

³ Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Carretera Federal Valle de Bravo, Km. 30, ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, 51200, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: armartinezc@uaemex.mx

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

27/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

El gradiente urbano-rural constituye un sistema socioecológico continuo y dinámico, donde los procesos naturales, productivos y urbanos se entrelazan de manera estrecha, generando efectos directos sobre la salud humana, la seguridad alimentaria y la biodiversidad. Las presiones derivadas de la urbanización, la intensificación agrícola y el cambio climático ponen en evidencia la necesidad de enfoques integrales que fortalezcan la resiliencia de los territorios sin fragmentar sus componentes sociales y ambientales. En este escenario, la biotecnología se presenta como una herramienta estratégica capaz de articular soluciones diferenciadas a lo largo del gradiente, siempre que se aplique desde una visión ética, participativa y sistémica. Su potencial no radica únicamente en la innovación tecnológica, sino en la capacidad de integrarse con el conocimiento local y responder a las necesidades específicas de cada contexto, desde espacios urbanos densamente poblados hasta paisajes rurales y periurbanos. Las aplicaciones analizadas —que abarcan sistemas productivos tradicionales regenerativos, prácticas agrícolas resilientes, bioinsumos locales y estrategias de conservación genética y ecológica— muestran que la biotecnología puede fortalecer simultáneamente la seguridad alimentaria, la salud ambiental y la estabilidad de los medios de vida. Estas experiencias demuestran que no existe una solución única, sino un conjunto de herramientas adaptables que permiten construir respuestas acordes con la diversidad social y ecológica del gradiente urbano-rural. De esta manera, la biotecnología, concebida como un puente entre innovación científica y saber comunitario, se consolida como un componente clave para promover territorios más justos, funcionales y regenerativos, capaces de sostener el bienestar humano sin comprometer la integridad de los ecosistemas que los sustentan.

Palabras clave: biología molecular, biorremediación, contaminación difusa, degradación de suelos, economía circular, edición genética.



ABSTRACT

The urban-rural gradient constitutes a continuous and dynamic socioecological system, in which natural, productive, and urban processes are closely intertwined, generating direct effects on human health, food security, and biodiversity. The pressures arising from urbanization, agricultural intensification, and climate change highlight the need for integrated approaches that strengthen territorial resilience without fragmenting their social and environmental components. In this context, biotechnology emerged as a strategic tool capable of articulating differentiated solutions along the gradient, provided that it is applied from an ethical, participatory, and systemic perspective. Its potential lies not only in technological innovation but also in its capacity to integrate local knowledge and respond to the specific needs of each context, from densely populated urban areas to rural and peri-urban landscapes. The applications analyzed—including generative traditional regenerative production systems, resilient agricultural practices, local bioinputs, and genetic and ecological conservation strategies—demonstrate that biotechnology can simultaneously strengthen food security, environmental health, and livelihood stability. These experiences show that there is no single solution, but rather a set of adaptable tools that enable context-specific responses aligned with the social and ecological diversity of the urban-rural gradient. In this way, biotechnology, conceived as a bridge between scientific innovation and community knowledge, is consolidated as a key for promoting more just, functional, and regenerative territories capable of sustaining human well-being without compromising the integrity of the ecosystems that support them.

Keywords: bioremediation, circular economy, diffuse pollution, gene editing, molecular biology, soil degradation.

INTRODUCCIÓN

El gradiente urbano-rural se expresa como un continuo que conecta ciudades, suburbios, zonas agrícolas y bosques periféricos. Más que un cambio de paisaje constituye un sistema socioecológico dinámico donde circulan materiales, energía y organismos, generando redes de interdependencia entre procesos humanos y naturales (Grimm et al., 2008). Estos socioecosistemas proveen servicios esenciales —polinización, regulación microclimática, purificación del aire y agua, y espacios de bienestar—, pero su fragilidad frente a la presión antrópica exige enfoques innovadores de gestión y conservación. El Convenio sobre la Diversidad Biológica la define como el uso de sistemas biológicos y organismos vivos para crear o modificar productos y procesos (Naciones Unidas, 1992). Más allá de los transgénicos, se ha consolidado como una ciencia integradora capaz de diagnosticar, restaurar y potenciar la vida en distintas escalas, favoreciendo una interacción armónica entre sociedad y naturaleza (FAO, 2020).

Este documento se apoya en los hallazgos de Ruiz-González et al. (2025), quienes muestran que estudiantes de secundaria y bachillerato reconocen bacterias benéficas y dañinas, pero las asocian sobre todo con la salud humana. Su conocimiento sobre aplicaciones ambientales —como la biorremediación— es limitado y presenta errores conceptuales (Casanoves et al., 2015; Fonseca et al., 2012; Ocelli, 2011). Aun así, sus actitudes hacia la biotecnología son positivas, lo que abre una oportunidad educativa para fortalecer la enseñanza en microbiología y biotecnología ambiental, de modo que el alumnado pueda comprender y argumentar críticamente sus aplicaciones en los socioecosistemas urbano-rurales (Lederman, 2019; UNESCO, 2021).

TENSIONES SOCIOECOLÓGICAS EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL

El gradiente urbano-rural enfrenta tensiones que comprometen su equilibrio y la provisión de servicios ecosistémicos. La fragmentación del hábitat y la pérdida de biodiversidad generan “islas” ecológicas que aíslan poblaciones y reducen la conectividad genética,



debilitando la resiliencia, entendida como la capacidad de los sistemas de sobreponerse a perturbaciones y mantener sus funciones vitales (Hilty et al., 2021; Manosalva-Caicedo, 2024). A ello se suma la contaminación, pues el gradiente funciona como canal de transporte de metales pesados, hidrocarburos, nitratos y pesticidas que se acumulan en suelos y acuíferos (Nasr y Eissa, 2025). La degradación de suelos por expansión urbana y agricultura intensiva disminuye su fertilidad y microbiota esencial (Lal, 2015), mientras que la inseguridad hídrica surge de la competencia entre usos urbanos y agrícolas, agravada por la contaminación y con impactos directos en ríos y humedales (Vörösmarty et al., 2010). El cambio climático intensifica estas amenazas al potenciar islas de calor, sequías y eventos extremos que superan la capacidad adaptativa de los ecosistemas (IPCC, 2022). En conjunto, estas presiones se entrelazan y retroalimentan, reduciendo la capacidad del gradiente urbano-rural para sostener funciones ecológicas y bienestar humano.

BIORREMEDIACIÓN Y FITORREMEDIACIÓN

La biotecnología ha abierto un camino fascinante para enfrentar la contaminación de suelos y cuerpos de agua, especialmente aquellos deteriorados por actividades industriales y agrícolas. En los llamados brownfields, antiguos terrenos industriales abandonados, se han desarrollado consorcios bacterianos capaces de degradar hidrocarburos y otros contaminantes persistentes (Figura 1).

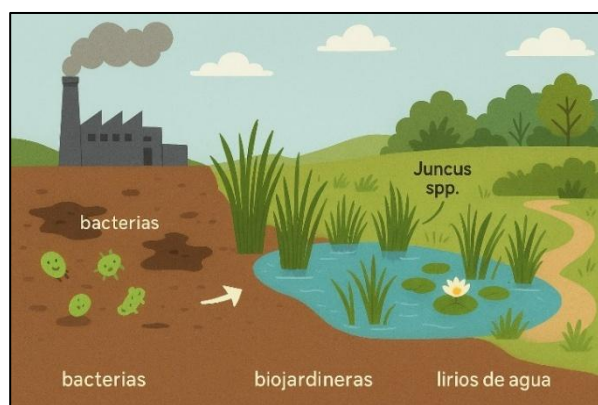


Figura 1. Ejemplos de aplicaciones de bacterias y plantas en la biorremediación de suelos contaminados por la

industria. Imagen generada por inteligencia artificial mediante Microsoft Copilot (Open AI, 2026).

A la par, ciertas especies vegetales, como los juncos (*Juncus* spp.) y el lirio de agua (*Eichhornia crassipes*), cumplen un papel esencial como fitorremediadores: sus raíces no solo acumulan metales pesados, sino que también transforman compuestos orgánicos con la ayuda de bacterias que habitan en la rizósfera. Estas técnicas, además de ser pasivas y de bajo costo, ofrecen beneficios adicionales al paisaje y al equilibrio ecológico, convirtiéndose en una alternativa prometedora para la recuperación de ambientes degradados (Glick, 2010).

AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA DE PRECISIÓN

En el ámbito productivo, la biotecnología impulsa sistemas agrícolas capaces de responder simultáneamente a la inseguridad alimentaria, la degradación del suelo y el estrés climático en entornos urbanos y periurbanos. Las técnicas de selección asistida por marcadores (MAS) y edición genética (CRISPR-Cas9) permiten desarrollar variedades de hortalizas y frutales adaptadas a condiciones de salinidad, sequía y altas temperaturas (Zhang et al., 2014). Asimismo, el uso de biofertilizantes y bioplaguicidas –basados en micorrizas, rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, *Bacillus thuringiensis* (Bt) y hongos entomopatógenos –mejora la salud del suelo y reduce la dependencia de insumos químicos, fortaleciendo los servicios ecosistémicos asociados a la producción agrícola (Glare y O’Callaghan, 2000).

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

La fragmentación del paisaje en el gradiente urbano-rural, especialmente cerca de los centros urbanos, demanda estrategias para conservar la diversidad genética funcional. Los bancos de germoplasma y el cultivo de tejidos funcionan como reservas que sostienen proyectos de revegetación y restauración en territorios donde la presión urbana ha reducido las especies nativas (Engelmann, 2011). A la par, la genómica de la conservación permite analizar la diversidad en poblaciones aisladas, información clave para diseñar corredores biológicos que conecten fragmentos separados

por infraestructuras y actividades humanas. Estos estudios también orientan programas de reforzamiento poblacional que disminuyen la endogamia y recuperan el vigor genético, favoreciendo la persistencia y adaptación de las especies en paisajes sometidos a la tensión constante entre lo urbano y lo rural como sequía, altas temperaturas, salinidad, entre otras (Figura 2) (Frankham et al., 2017).

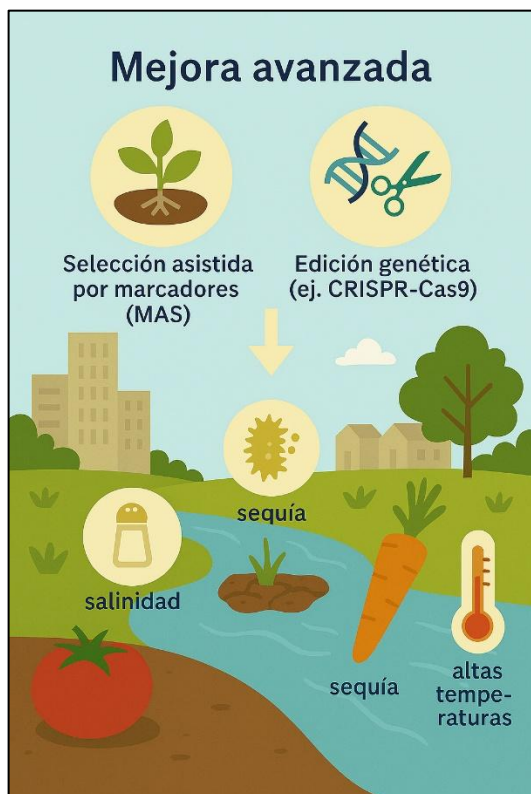


Figura 2. Variedades de hortalizas y frutales obtenidas mediante selección asistida por marcadores (MAS) y edición genética (CRISPR-Cas9), adaptadas a condiciones de estrés como sequía, salinidad y altas temperaturas. Imagen generada por inteligencia artificial mediante Microsoft Copilot (Open AI, 2026).

SIMBIOSIS URBANA: DE LOS RESIDUOS A LOS RECURSOS

La biotecnología también desempeña un papel central en la transición hacia modelos de economía circular. Los residuos orgánicos urbanos y agroindustriales pueden procesarse mediante digestión anaeróbica para generar biogás y digestato (material rico en nutrientes, resultado del proceso de digestión anaeróbica de residuos

orgánicos, como estiércol, lodos o desechos de alimentos), ambos reutilizables como biofertilizantes (Figura 3). Además, el cultivo de microalgas en aguas residuales tratadas permite la captura de CO₂ y la producción de biomasa con aplicaciones en alimentación, forraje y biocombustibles (Mata et al., 2010). Estas estrategias contribuyen a los ciclos de nutrientes y a reducir la presión sobre los ecosistemas rurales.

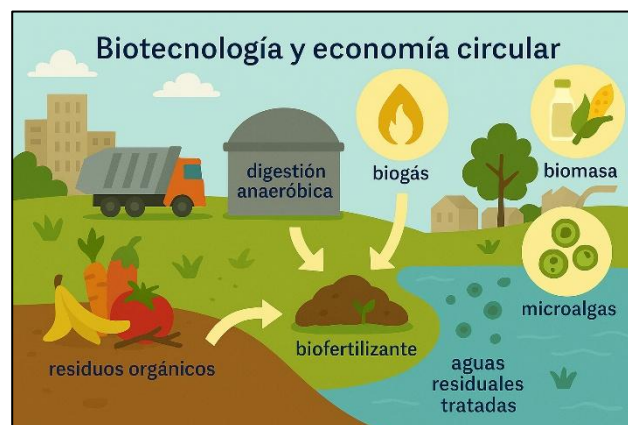


Figura 3. Procesos de digestión anaeróbica de residuos orgánicos urbanos y agroindustriales para la producción de biogás y biofertilizantes, junto con el cultivo de microalgas en aguas residuales tratadas para la captura de CO₂. Imagen generada por inteligencia artificial mediante Microsoft Copilot (Open AI, 2026).

EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL DE MÉXICO

Diversas iniciativas en México muestran cómo la biotecnología puede aplicarse de manera integral a lo largo del gradiente urbano-rural. En Xochimilco, el sistema chinampa-regenerativo incorpora biofiltros y biorreactores para mejorar agua y suelo, favoreciendo la reintroducción de especies nativas como el ajolote, mientras que el uso de biofertilizantes sustituye agroquímicos y fortalece la resiliencia agrícola (González y López, 2019; Zambrano y Valiente, 2020). En Guadalajara, el proyecto Cultiva Ciudad convierte azoteas en espacios productivos mediante sustratos enriquecidos con biochar y especies seleccionadas por su tolerancia al estrés térmico (Díaz-Caamaño, 2024). En el ámbito rural, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

(INIFAP) desarrollan variedades de maíz nativo resistentes a la sequía, complementadas con estudios genómicos del frijol tépari que revelan mecanismos únicos de adaptación al calor y la falta de agua (Grupo Ceres, 2021; INIFAP, 2022). A su vez, la Red de Biofábricas en Morelos y Puebla produce biofertilizantes y bioplaguicidas basados en micorrizas y hongos entomopatógenos, mientras que proyectos de conservación en Veracruz y Nayarit emplean crioconservación y propagación in vitro para restaurar bosques de niebla y manglares (Ortíz-Hernández et al., 2025).

CONCLUSIONES

El gradiente urbano-rural debe entenderse como un sistema socioecológico continuo, donde procesos ecológicos, productivos y urbanos están estrechamente vinculados. Las presiones de la urbanización, la intensificación agrícola y el cambio climático muestran la necesidad de enfoques integrales que fortalezcan la resiliencia de los territorios sin fragmentar sus componentes sociales y ambientales. En este marco, la biotecnología se presenta como una herramienta estratégica capaz de ofrecer soluciones diferenciadas a lo largo del gradiente, siempre que se aplique con una visión ética, participativa y sistémica. Su valor no reside solo en la innovación tecnológica, sino en su capacidad de integrarse con el conocimiento local y responder a las necesidades específicas de cada contexto, desde ciudades densamente pobladas hasta paisajes rurales y periurbanos.

Las experiencias revisadas —que incluyen sistemas productivos regenerativos, prácticas agrícolas resilientes, bioinsumos locales y estrategias de conservación— muestran que la biotecnología puede fortalecer la seguridad alimentaria, la salud ambiental y la estabilidad de los medios de vida, contribuyendo al cumplimiento de los ODS. Más que una solución única, ofrece un conjunto de herramientas adaptables que permiten construir respuestas acordes con la diversidad social y ecológica del gradiente urbano-rural, avanzando hacia paisajes justos, funcionales y regenerativos capaces de sostener el bienestar humano sin comprometer la integridad de los ecosistemas.

Literatura citada

Casanoves, M.; González, Á.; Salvadó, Z.; Haro J.; Novo, M. (2015) Knowledge and attitudes towards

biotechnology of elementary education preservice teachers: The first Spanish experience. *International Journal of Science Education*, 37, 2923–2941. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1116718>

Díaz-Caamaño, A. (2024) Agricultura en la ciudad: Una ruta hacia la cultura del bienestar y de la sostenibilidad. *Academia XXI* 15(29), 55–72. <https://doi.org/10.22201/fa.2007252xp.2024.15.29.88657>

Engelmann, F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 47(1), 5–16. <https://doi.org/10.1007/s11627-010-9327-2>

Fonseca, M.J.; Costa, P.; Lencastre, L.; Tavares, F. (2012) Multidimensional analysis of high-school students' perceptions about biotechnology. *Journal of Biological Education*, 46, 129–139. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.634019>

Frankham, R.; Ballou, J.D.; Ralls, K.; Eldridge, M.; Dudash, M.R.; Fenster, C.B.; Lacy, R.C.; Sunnucks, P. (2017) *Genetic management of fragmented animal and plant populations*. Oxford University Press.

Glare, T.R.; O'Callaghan, M. (2000) *Bacillus thuringiensis: Biology, ecology and safety*. John Wiley & Sons.

Glick, B.R. (2010) Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances* 28(3), 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.001>

González, J.A.; López, R. (2019) Uso de biofertilizantes en agroecosistemas chinamperos: alternativas sostenibles frente a agroquímicos. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 345–356. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.345>

Grimm, N.B.; Faeth, S.H.; Golubiewski, N.E.; et al. (2008) Global change and the ecology of cities. *Science* 319(5864), 756–760.

Grupo Ceres (2021) El cultivo de maíz frente a la sequía en México. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-cultivo-de-maiz-frente-a-la-sequia-en-mexico/>

Hilty, J.A.; Worboys, G.L.; Keeley, A.; et al. (2021) Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30>



- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2022) Selección de líneas de maíz por su tolerancia a sequía y calor. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(2), 123–134. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.45.2.123>
- Intergovernmental Panel on Climate change (IPCC). (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Lal, R. (2015) Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability* 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Lederman, N.G. (2019) Incursión de la biotecnología en la educación: Tendencias e implicaciones. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 18(2), 345–362. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77629802018>
- Manosalva-Caicedo, J. (2024) Conectividad ecológica y conservación en paisajes fragmentados: retos para América Latina. *Revista Colombiana de Ecología* 29(1), 15–32. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co>
- Mata, T.M.; Martins, A.A.; Caetano, N.S. (2010) Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(1), 217–232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>
- Naciones Unidas (1992) Convenio sobre la Diversidad Biológica. Río de Janeiro: Naciones Unidas. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Nasr, M. A.; Eissa, N. (2025) *Rural and Urban Pollution*. 405–414. <https://doi.org/10.1002/9781394208180.ch35>
- Occelli, M.; Vilar, M.T.; Valeiras, N. (2011) Conocimientos y actitudes de estudiantes de la ciudad de Córdoba (Argentina) en relación a la biotecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10, 227–242.
- Open AI. (2026) Ejemplos de aplicaciones de bacterias y plantas en la biorremediación de suelos contaminados por la industria. [Imagen generada por inteligencia artificial]. Copilot. <https://copilot.microsoft.com/>
- Open AI. (2026) Variedades de hortalizas y frutales obtenidas mediante selección asistida por marcadores (MAS) y edición genética (CRISPR-Cas9), adaptadas a condiciones de estrés como sequía, salinidad y altas temperaturas. [Imagen generada por inteligencia artificial]. Copilot. <https://copilot.microsoft.com/>
- Open AI. (2026) Procesos de digestión anaeróbica de residuos orgánicos urbanos y agroindustriales para la producción de biogás y biofertilizantes, junto con el cultivo de microalgas en aguas residuales tratadas para la captura de CO₂. [Imagen generada por inteligencia artificial]. Copilot. <https://copilot.microsoft.com/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020) Biodiversity for food and agriculture and ecosystem services – Thematic Study for The State of the World’s Biodiversity for Food and Agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cb0649en>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2021) Manual de educación en bioética. Volumen I. Montevideo: UNESCO / Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org>
- Ortiz-Hernández, J.M.; Vovides, A.P.; Díaz-Toribio, M.H. (2025) Germination of cloud forest native shrubs with potential for restoration in central Veracruz, Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, (132), e2365. <https://doi.org/10.21829/abm132.2025.2365>
- Ruiz-González, C.; López-Banet, L.; Ayuso-Fernández, G.E. (2025) Applications of biotechnology in the environment: Arguments from Spanish secondary school students. *Sustainability* 17(15), 6768. <https://doi.org/10.3390/su17156768>
- Vörösmarty, C.J.; McIntyre, P.B.; Gessner, M.O.; et al. (2010) Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Zambrano, L.; Valiente, E. (2020) Restauración ecológica en sistemas chinamperos: integración de biofiltros y conservación del ajolote. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91(3), e913597. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3.913597>
- Zhang, H.; Zhang, J.; Wei, P.; et al. (2014). The CRISPR/Cas9 system produces specific and homozygous targeted gene editing in rice in one



generation. *Plant Biotechnology Journal* 12, 797–807.
<https://doi.org/10.1111/pbi.12200>





Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

Tianguis y mercados en el gradiente urbano-rural: puentes bioculturales entre el campo y la ciudad

Tianguis and markets within the urban-rural gradient: acting as biocultural bridges between rural and urban areas

María Cristina Chávez-Mejía ¹ , Gregoria Rodríguez-Muñoz ^{2,*} , Marcos Israel Campos-López ² , William Gómez-Demetrio ¹ 

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera El Cerrillo-Piedras Blancas s/n, Toluca de Lerdo, 50200, Estado de México, México.

² Centro Universitario UAEM Texcoco, Universidad Autónoma del Estado de México; Avenida Jardín Zumpango s/n. Fraccionamiento El Tejocote, 56259, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: grodriguez@uaemex.mx

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

1/05/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

El crecimiento de la población urbana en México ha intensificado la separación física y simbólica entre los espacios urbanos y rurales. En este contexto, los tianguis y mercados locales operan como espacios de articulación donde convergen alimentos, saberes y relaciones sociales, permitiendo la continuidad de prácticas bioculturales. Este artículo muestra la importancia de los tianguis y mercados para la provisión de alimentos en el continuum del gradiente urbano-rural. En estos espacios, urbanos y periurbanos, se comercializan más de cincuenta especies vegetales y fúngicas provenientes de parcelas agrícolas, huertos y bosques. Estas prácticas movilizan conocimientos ambientales tradicionales y fortalecen vínculos sociales, culturales y económicos entre productores y consumidores. Los tianguis y mercados permiten reconfigurar las relaciones que entrecruzan lo rural con lo urbano, fortaleciendo la soberanía alimentaria y la conservación biocultural en contextos de urbanización creciente.

Palabras clave: agricultura, conocimiento tradicional ambiental, diversidad biocultural, recolección.

ABSTRACT

The growth of the urban population in Mexico has intensified the physical and symbolic separation between rural and urban spaces. In this context, tianguis and local markets function as sites of articulation where foods, knowledge, and social relations converge, enabling the continuity of biocultural practices. This article highlights the importance of tianguis and markets in food provision along the urban-rural gradient continuum. Within these urban and peri-urban spaces, more than fifty plant and fungal species originating from agricultural plots, home gardens, and forests are traded. These practices mobilize traditional environmental knowledge and strengthen social, cultural, and economic ties between producers and consumers. Tianguis and markets allow for the reconfiguration of



the relationships that intersect the rural with the urban, strengthening food sovereignty and biocultural conservation in contexts of increasing urbanization.

Keywords: agriculture, biocultural diversity, environmental local knowledge, gathering plants.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población en áreas urbanas y periurbanas en la mayoría de los casos representa presión sobre los servicios ecosistémicos y pone en riesgo la continuidad de procesos ecológicos que regulan el clima, el ciclo del agua, la polinización, entre otros (MEA, 2005; IPBES, 2019). En este continuum urbano-rural, se configuran relaciones que trascienden esta tensión y pueden comprenderse desde el enfoque de los socioecosistemas, donde los procesos ecológicos y sociales se encuentran profundamente interrelacionados (Berkes y Folke, 1998; Ostrom, 2009). Estas interacciones sostienen funciones clave como el aprovisionamiento de alimentos; así como el mantenimiento de prácticas culturales, espacios de recreación y otros beneficios derivados de los ecosistemas.

Los tianguis y mercados son espacios de convergencia de poblaciones en el continuum del gradiente urbano-rural, entendido como un marco analítico que permite examinar la variación en la intensidad de la urbanización y las interacciones sociedad-naturaleza (McDonnell y Pickett, 1990; Alberti, 2016). En estos espacios, la venta e intercambio de alimentos y otros bienes contribuyen al aprovisionamiento alimentario y fortalecen la soberanía alimentaria, en el marco de los sistemas alimentarios territoriales y su estrecha relación con los servicios ecosistémicos (MEA, 2005). Al mismo tiempo, en ellos se expresan prácticas culturales, formas de convivencia y mecanismos de resistencia sociocultural (Arellanes-Cancino y Kieffer, 2022; Moreno-Calles et al., 2013). Más allá de su función económica, estos espacios operan como escenarios donde se reproducen identidades locales y se mantienen prácticas solidarias de larga tradición, como el trueque, que refuerzan la cohesión social y la reciprocidad (Sánchez et al., 2025). En ellos confluyen actividades productivas agropecuarias, de recolección y pesca, sustentadas en la diversidad ecológica y cultural de los territorios.

El objetivo de este artículo es analizar la comercialización de alimentos y otros bienes en tianguis y mercados como parte de la dinámica del gradiente urbano-rural; así como su contribución a la articulación de territorios, saberes y prácticas productivas. La información aquí presentada se obtuvo mediante trabajo de campo con un enfoque cualitativo: entrevistas a tianguistas, recorridos y observación directa en tianguis sobre los bienes ofertados. Este estudio se sustenta en el enfoque de los socioecosistemas y los gradientes urbano-rurales como marcos analíticos para comprender la articulación entre procesos ecológicos, prácticas productivas y dinámicas sociales.

DISPONIBILIDAD ALIMENTARIA EN UN CONTEXTO METROPOLITANO

Los tianguis y mercados representan puntos de alta intensidad, de intercambio dentro del gradiente urbano-rural. Para comprender esta dinámica, se analizan dos casos contrastantes: Santa Catarina del Monte, en el extremo periurbano-rural y San Luis Mextepec, en un contexto metropolitano.

Santa Catarina del Monte se localiza en la zona montañosa del municipio de Texcoco, Estado de México, a 14 km de la cabecera municipal. Su altitud oscila entre los 2,700 y 3,500 msnm, donde en 2020 la población ascendía a 6,587 habitantes (INEGI, 2020). Por su parte, San Luis Mextepec (SLM) forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, se ubica a 2 km de la cabecera municipal de Zinacantepec y a una altitud de 2,726 msnm; cuenta con 29,788 habitantes (INEGI, 2020).

En San Luis Mextepec, los productores combinan actividades comerciales y de servicios con prácticas agropecuarias que continúan siendo relevantes. En parcelas agrícolas, huertos familiares y áreas naturales se cultivan y recolectan granos básicos, hortalizas, frutas, plantas medicinales, ornamentales y ceremoniales, que se



integran a circuitos regionales de intercambio a través del tianguis.

En contraste, Santa Catarina del Monte (SMM) se caracteriza por una relación más directa entre las actividades productivas y el entorno natural. La comercialización de productos agrícolas y de recolección se sustenta en el aprovechamiento de parcelas, huertos familiares y áreas forestales. La vegetación natural y el bosque circundante proveen una amplia diversidad de plantas medicinales, rituales y comestibles, así como hongos silvestres. Aunque las actividades económicas se han diversificado hacia el comercio, la industria, la educación y los servicios, las prácticas agropecuarias y de recolección continúan siendo relevantes a nivel local. En las parcelas familiares se cultiva maíz y otros granos básicos, así como frutales (pera, manzana y tejocote) y flores a cielo abierto. Estos productos, junto con los de recolección, se destinan tanto al autoconsumo como a la venta en el tianguis local (los días miércoles) y en el mercado de las vías en la cabecera municipal (sábados y domingos). La identificación y el aprovechamiento de estos recursos se sustentan en conocimientos ambientales acumulados y transmitidos entre generaciones, que permiten reconocer temporalidades, hábitats y usos diferenciados de las especies.

El tianguis dominical de San Luis Mextepec funciona como un nodo estratégico de redistribución de productos provenientes de diversos territorios rurales. En este espacio convergen alimentos agrícolas y de recolección, que amplían la oferta disponible para la población urbana y periurbana evidenciando la interdependencia entre distintos sistemas productivos.

A diferencia de contextos más rurales, la circulación de alimentos en San Luis Mextepec no depende exclusivamente de la producción local inmediata, sino de una red territorial más amplia que articula comunidades vecinas y municipios con vocación agrícola y forestal. En el tianguis de SLM participan productores provenientes de comunidades del municipio de Zinacantepec -como San Antonio Acahualco, San Juan de las Huertas, Santa María del Monte- así como de municipios como Amanalco de Becerra, Santo Tomás de los Plátanos, Temascaltepec y Tenancingo. En este espacio no solo se comercializan productos agrícolas tradicionales, sino también recursos provenientes de la recolección en áreas naturales protegidas, como el Área de Protección de

Recursos Naturales, el Parque Estatal Santuario del Agua Presa de Corral de Piedra y el Área Natural Protegida Tenancingo-Malinalco-Zumpahuacán.

El tianguis de SLM concentra productos de distintas procedencias y temporalidades, lo que refleja una mayor complejidad en las cadenas de abastecimiento y en las relaciones campo-ciudad. Este espacio periurbano opera como un punto de encuentro entre productores rurales y consumidores urbanos, donde la venta directa permite sostener medios de vida campesinos y diversificar la dieta de la población metropolitana. A partir de estos casos, es posible analizar cómo estas dinámicas se insertan en el funcionamiento del gradiente urbano-rural, evidenciando la articulación entre territorios, prácticas productivas y circuitos de intercambio alimentario.

AGRICULTURA Y RECOLECCIÓN EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL

Los tianguis y mercados de Santa Catarina del Monte y San Luis Mextepec reflejan posiciones diferenciadas dentro del gradiente urbano-rural, más que una oposición entre formas de organización productiva y comercial. En el primer caso, la cercanía con los espacios forestales y agrícolas permite una articulación directa entre producción, recolección y comercialización, donde el territorio constituye un referente inmediato para las prácticas alimentarias. En el segundo, la inserción en un entorno metropolitano favorece dinámicas de comercialización más complejas, mediadas por una mayor diversidad de procedencias y escalas territoriales.

Estas diferencias evidencian que el gradiente urbano-rural opera como un continuo funcional, en el que las formas de producción primaria y los mecanismos de redistribución urbana se articulan y complementan. Lejos de representar modelos excluyentes, ambos contextos forman parte de un mismo sistema alimentario territorial, adaptándose a condiciones socioespaciales diferenciadas. En este sentido, la comercialización de bienes agrícolas y de recolección permite observar las distintas formas en que cada espacio organiza prácticas productivas, flujos de alimentos y relaciones sociales a lo largo del gradiente urbano-rural.

LA COMERCIALIZACIÓN COMO PUENTE DEL GRADIENTE URBANO-RURAL



La comercialización en tianguis y mercados locales constituye un mecanismo clave de articulación del gradiente urbano-rural, al permitir la conexión funcional entre territorios con distintas formas de producción, uso del suelo y demandas alimentarias. En estos espacios se materializa la continuidad entre lo rural, lo periurbano y lo urbano, no como ámbitos separados, sino como partes interdependientes de un mismo sistema de abastecimiento.

Más que un proceso exclusivamente económico, la comercialización opera como un dispositivo social que organiza flujos regulares de alimentos y otros bienes, ajustados a la temporalidad agrícola y de recolección. Esta dinámica hace posible que productos provenientes de parcelas, huertos y bosques (Figura 1) circulen hacia contextos urbanos sin perder su anclaje territorial, manteniendo visibles sus orígenes y formas de producción.



Figura 1. Plantas medicinales, comestibles y hongos en el mercado de Santa Catarina del Monte. Imagen: G-R-M.

En el gradiente urbano-rural, los tianguis y mercados funcionan como espacios de intermediación social directa, donde la cercanía entre oferentes y consumidores reduce la distancia entre producción y consumo. Esto permite reconocer quiénes y de dónde provienen los bienes que se adquieren, favoreciendo procesos de valoración y revalorización de los alimentos, así como la toma de conciencia de que lo que llega a la mesa es resultado del trabajo de productores y recolectores, de hombres y mujeres. Esta proximidad fortalece relaciones basadas en el reconocimiento mutuo, la confianza y la

valoración de los alimentos locales, diferenciándose de otros canales de comercialización más impersonales.

Así, la comercialización en estos espacios no solo facilita el acceso a alimentos diversos, sino que contribuye a sostener la continuidad de prácticas productivas rurales y periurbanas, al integrarlas en circuitos de intercambio estables. En este sentido, los tianguis y mercados se consolidan como puentes socio-territoriales que articulan economías locales, saberes productivos y demandas urbanas a lo largo del gradiente urbano-rural (Figura 2).



Figura 2. Alimentos cultivados y de recolección en el tianguis de San Luis Mextepec. Imagen de MCC-M.

A través de la venta en tianguis y mercados locales se contribuye a la disponibilidad de alimentos para la población urbana, particularmente para aquellos sectores que dependen de la compra cotidiana para su dieta. Se estima que en México existen 10,133 tianguis y 3,352 mercados municipales, lo que evidencia la importancia y potencial de estos espacios para la disponibilidad de alimentos y el fortalecimiento de la soberanía alimentaria (Solís et al., 2024). Asimismo, se ha señalado que el consumo de alimentos frescos,

diversos y locales puede asociarse con mejores condiciones de salud, en contraste con patrones de abastecimiento basados en supermercados, donde predomina el consumo de alimentos ultraprocesados con efectos negativos en la salud.

BIOCULTURALIDAD PARA LA SOBERANÍA ALIMENTARIA

La soberanía alimentaria en contextos urbanos y periurbanos no puede entenderse únicamente como un problema de acceso físico a los alimentos. Su sostenimiento cotidiano depende de un entramado de prácticas, saberes y relaciones sociales que tienen su origen en territorios rurales y que se mantienen activas a través de espacios como los tianguis y mercados locales. Desde esta perspectiva, la bioculturalidad ofrece un marco para comprender cómo la diversidad biológica y los conocimientos culturales se articulan en la producción, circulación y consumo de alimentos.

Los conocimientos ambientales tradicionales vinculados a la agricultura y a la recolección constituyen un componente fundamental de esta bioculturalidad. Se trata de saberes construidos a partir de la experiencia prolongada con los ecosistemas locales, que orientan decisiones sobre qué producir, cuándo hacerlo y cómo aprovechar los recursos disponibles sin comprometer los equilibrios ecológicos. Su vigencia permite la continuidad de sistemas agroalimentarios diversificados, adaptados a condiciones ambientales específicas y estrechamente ligados a la historia y a la identidad de las comunidades.

Estos conocimientos no permanecen confinados al ámbito de la producción. En los tianguis y mercados, la bioculturalidad se actualiza y se hace visible a través de los procesos de intercambio. Los alimentos circulan acompañados de referencias a su origen, a las prácticas que hicieron posible su obtención y a los usos que les son socialmente atribuidos. De este modo, el intercambio comercial se convierte también en un espacio de transmisión de saberes, donde productores y consumidores comparten criterios de calidad, temporalidad y valor que van más allá del precio.

La relación entre bioculturalidad y soberanía alimentaria se expresa en la posibilidad de sostener dietas diversas y culturalmente significativas. Al mantener

circuitos de intercambio basados en alimentos locales y de temporada, se reduce la dependencia de sistemas alimentarios estandarizados y se fortalece la capacidad de las poblaciones para incidir en sus propias formas de alimentación. En este sentido, la soberanía alimentaria se construye desde lo cotidiano, a partir de decisiones prácticas que articulan producción, intercambio y consumo en el territorio.

La bioculturalidad juega un papel central en la resiliencia de los sistemas alimentarios, al favorecer la conservación de la diversidad biológica y de los conocimientos asociados a su manejo (Bridgewater y Rotherham, 2019). Esta resiliencia resulta particularmente importante en contextos de urbanización acelerada, donde los cambios en el uso del suelo y en las dinámicas económicas tienden a homogeneizar las prácticas alimentarias y a debilitar los vínculos entre las ciudades y sus territorios de abasto.

Desde la perspectiva de la soberanía alimentaria, la permanencia de estos saberes y prácticas refuerza la capacidad colectiva para decidir qué alimentos se producen, cómo se intercambian y en qué condiciones se consumen, priorizando criterios de sostenibilidad, pertinencia cultural y justicia social (Nyéléni, 2007). En este marco, la bioculturalidad no debe entenderse como un rasgo del pasado, sino como un proceso dinámico que se reconfigura constantemente en la interacción entre poblaciones rurales, periurbanas y urbanas.

Así, los tianguis y mercados locales se consolidan como espacios donde la bioculturalidad y la soberanía alimentaria se entrelazan de manera concreta. En ellos se sostienen prácticas que permiten la continuidad de sistemas agroalimentarios diversos y socialmente significativos, contribuyendo a la construcción de formas de abasto más justas y arraigadas en el territorio, capaces de responder a los desafíos alimentarios contemporáneos sin desvincularse de sus bases bioculturales.

CONCLUSIONES

Los tianguis y mercados locales analizados permiten comprender el gradiente urbano-rural no como una frontera rígida entre espacios de producción y consumo, sino como un entramado dinámico de relaciones sociales y territoriales que se activan cotidianamente a través de la circulación de alimentos. En este continuo, la alimentación articula prácticas rurales, dinámicas periurbanas y demandas urbanas, haciendo visible la



interdependencia que sostiene los sistemas locales de abasto en contextos de urbanización creciente.

Los casos de Santa Catarina del Monte y San Luis Mextepec muestran que las diferencias territoriales no implican una ruptura funcional, sino formas complementarias de inserción en los sistemas alimentarios. La producción agropecuaria, la recolección y la redistribución de alimentos se integran en circuitos que permiten sostener medios de vida locales y abastecer a poblaciones urbanas sin desvincular los alimentos de sus territorios de origen. Este tipo de articulación no es exclusivo de los contextos analizados, sino que se observa en diversas regiones de México y otras partes del mundo, donde los mercados locales cumplen funciones similares de enlace entre el campo y la ciudad.

En este marco, la comercialización en tianguis y mercados trasciende su dimensión económica y adquiere un carácter socio-territorial. Estos espacios funcionan como nodos de mediación donde se articulan saberes productivos, relaciones sociales y valores culturales asociados a los alimentos, favoreciendo vínculos de cercanía, reconocimiento y confianza entre productores y consumidores. Su permanencia resulta clave para comprender las formas en que las ciudades se abastecen y mantienen relaciones activas con los territorios que las rodean.

La bioculturalidad emerge como un eje central para comprender la soberanía alimentaria en contextos urbanos y periurbanos. Más que una noción abstracta, se expresa en prácticas cotidianas que enlazan producción, intercambio y consumo, y que permiten sostener dietas diversas y culturalmente significativas. Desde esta perspectiva, los tianguis y mercados pueden entenderse como componentes estratégicos de los sistemas alimentarios territoriales, cuya incorporación en procesos de planeación y abasto contribuiría a fortalecer formas de suministro más justas, sostenibles y arraigadas en el territorio.

Literatura citada

- Alberti, M. (2016) *Cities that think like planets. Complexity, resilience, and Innovation in Hybrid Ecosystems*. University of Washington Press.
- Arellanes-Cancino, Y.; Kieffer, M. (2022). El tianguis de cambio de Pátzcuaro desde la producción social del espacio. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, 43(171), 130-153.
- Berkes, F.; Folke, C. (1998) *Linking social and ecological systems*. Cambridge University Press.
- Bridgewater, P.; Rotherham, I.D. (2019). A critical perspective on the concept of biocultural diversity and its emerging role in nature and heritage conservation. *People and Nature*, 1(3), 291–304. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pan3.10040>
- Nyeléni. (2007) *Declaration of Nyéléni*. Forum for Food Sovereignty. Sélingué, Mali. <https://nyeleni.org/IMG/pdf/DeclNyeleni-en.pdf>.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2020) Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- McDonnell, M.J.; Pickett, S.T.A. (1990) Ecosystem structure and function along urban–rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71, 1232–1237. <https://doi.org/10.2307/1938259>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Moreno-Calles, A.I.; Toledo, V.M.; Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91, 375–398. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_art_text&pid=S2007-42982013000400001
- Ostrom, E. (2009) A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325 (5939), 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Sánchez, F.I.; Salazar, B. L.; Vázquez, L.A.; Ramo, R. (2025). Apuntes del tianguis en el tejido del hábitat urbano. En B. L. Salazar Martínez, L. A. Vázquez Honorato, P. Martínez Olivarez, L. D. Rodríguez Hernández, R. Ramo Díaz y H. Brizuela Casimir (coords.) *Abordaje de la cultura del hábitat desde la transversalización de la investigación*. Comunicación Científica, pp. 75-95 DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.295.04>
- <https://revistarelaciones.colmich.edu.mx/index.php/relaciones/article/view/921/2082>







Solis, L.M.; Flores, L.Ma.L., Neri-Suárez, M. (2024) Los mercados y tianguis en el abasto de alimentos como pilares en la soberanía alimentaria en México. *Revista Agroalimentaria*, 30(58), 87-113.
<https://doi.org/10.53766/Agroalim/2024.30.58.04>

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

Restauración de los ecosistemas forestales: beneficios para las poblaciones urbanas y rurales

*Restoration forest ecosystems: benefits for urban and rural populations*Francisca Ofelia Plascencia-Escalante ^{1,*} , Juan Carlos Montoya-Jiménez ² , Patricia Hernández-de la Rosa ¹ , César Primero-Huerta ² 

¹ Posgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, 56264, Estado de México, México.

² Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo; Carretera Federal Valle de Bravo, Km. 30, ejido San Antonio Laguna, 51200 Valle de Bravo, México.

* Autor para correspondencia: fplascen@colpos.mx

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

28/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

Los ecosistemas forestales sostienen procesos esenciales para la vida y las actividades productivas, como la regulación hídrica, la conservación del suelo y la captura y almacenamiento de carbono. Sin embargo, su degradación –derivada del cambio de uso del suelo, los incendios, el sobrepastoreo, la extracción no planificada y otros factores– reduce de manera significativa estos beneficios y aumenta la vulnerabilidad socioambiental tanto de comunidades rurales como de las urbanas. En este artículo se explica qué es la restauración ecológica (RE), y se discute su alcance más allá de la simple plantación de árboles, destacando su papel en la recuperación de procesos ecológicos clave. Se analizan los efectos del deterioro de los ecosistemas forestales sobre los servicios ecosistémicos, con énfasis en dos ciclos fundamentales: el del carbón y el del agua. Finalmente, se pone en evidencia la interdependencia entre los territorios rurales y urbanos, subrayando la importancia de restaurar y conservar y ecosistemas forestales sanos para una provisión sostenida de bienes y servicios que benefician a la sociedad.

Palabras clave: beneficios ambientales, bienestar humano, conectividad, economía, sociedad.

ABSTRACT

Forest ecosystems sustain essential processes for life and productive activities, such as water regulation, soil conservation, and carbon sequestration and storage. However, their degradation– driven by land-use changes, wildfires, overgrazing, unplanned extraction, and other factors – significantly reduces these benefits and increases the socio-environmental vulnerability of both rural and urban communities. This article explains what ecological restoration (ER) is, and discusses its scope beyond simple tree planting, highlighting its role in the recovery of key ecological processes. The effect of forest ecosystem degradation on analyzed, with emphasis on two fundamental cycles: carbon and water. Finally, the interdependence between rural and urban territories is highlighted, underscoring the



importance of restoring and conserving healthy forest ecosystems to ensure a sustained provision of goods and services that benefit society.

Keywords: Connectivity, economics, environmental benefits, human well-being, society.

INTRODUCCIÓN

Tanto las poblaciones rurales como las urbanas dependen cotidianamente de una amplia variedad de bienes y servicios, que sostienen el bienestar humano. El acceso al agua para beber, producir alimentos o realizar actividades domésticas, la calidad del aire que se respira; la disponibilidad de plantas, hongos y otros recursos provenientes de bosques, selvas y desiertos. Además de las experiencias culturales y recreativas asociadas a paisajes naturales, forman parte de la vida diaria de millones de personas. Sin embargo, aunque estos beneficios suelen darse por sentados, pocas veces se reflexiona sobre su origen, los procesos ecológicos que los hacen posibles y los territorios que los generan.

La mayoría de estos bienes y servicio se producen en ecosistemas naturales y seminaturales que se localizan principalmente en zonas rurales y periurbanas, pero cuyos beneficios se extienden hacia las ciudades. Esta relación de dependencia se expresa a lo largo del gradiente urbano-rural, un continuo territorial donde lo urbano y lo rural no constituyen espacios aislados, sino puntos interconectados mediante flujos de agua, energía, materiales, organismo y conocimiento. Comprender esta interdependencia resulta clave para enfrentar los desafíos ambientales actuales, particularmente aquellos asociados a la degradación de los ecosistemas forestales.

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo explicar cómo los procesos ecológicos que ocurren en los ecosistemas forestales sostienen la provisión de bienes y servicios esenciales para comunidades rurales y urbanas, analizar los efectos de su degradación sobre dos ciclos fundamentales –el del carbono y el del agua- y destacar el papel de la restauración ecológica (RE) como una estrategia clave para recuperar funciones ecológicas y fortalecer la resiliencia socioambiental en el gradiente urbano-rural.

LOS ECOSISTEMAS COMO BASE DE LA VIDA Y BIENESTAR

La vida en los ecosistemas depende de la interacción continua entre factores bióticos y abióticos, que regulan la distribución, abundancia y diversidad de los organismos (Levine et al., 2017) (Figura 1). Factores abióticos como el agua, el suelo, la atmósfera y la radiación solar y el relieve condicionan la productividad y el funcionamiento de los ecosistemas, mientras que las interacciones bióticas –entre plantas, animales, hongos y microorganismos- modulan los flujos de energía y materia que sostienen la vida.

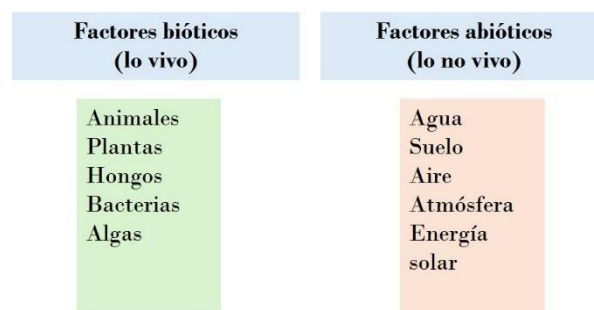


Figura 1. Factores esenciales para la vida en los ecosistemas (Thompson et al., 2018).

Un ecosistema no se limita a la presencia de vegetación o árboles, sino que constituye una red compleja de relaciones entre componentes vivos y no vivos que se mantiene en equilibrio. De estas interacciones emergen los llamados bienes y servicios ecosistémicos (Figura 2) (Gómez-Baggethun y Groot, 2007), que incluyen tanto productos tangibles –como alimentos, madera o fibras- como funciones regulatorias y culturales indispensables para el bienestar de los seres humanos.



Figura 2. Interconexión de elementos bióticos y abióticos, servicios y bienes entre los ecosistemas urbanos y rurales (Modificada de Programa ONU-REDD, 2010).

A lo largo del gradiente urbano-rural, estos ecosistemas adoptan configuraciones diversas. En las zonas rurales predominan los bosques, selvas y agroecosistemas; en las áreas periurbanas estos se fragmentan y conviven con infraestructura y usos urbanos; mientras que en las ciudades los remanentes de ecosistemas naturales suelen ser escasos. No obstante, incluso en los contextos más urbanizados, la dependencia de los procesos ecológicos que ocurren fuera de la ciudad sigue siendo fundamental.



Figura 3. Bienes y servicios que proveen los ecosistemas (Tomada de <https://www.wwf.org.mx/>).

CUANDO EL EQUILIBRIO SE ROMPE: PÉRDIDA Y DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

Si bien los ecosistemas forestales sostienen funciones esenciales para la vida, a escala mundial, nacional y local enfrentan una creciente degradación. El cambio de uso del suelo, los incendios recurrentes, el sobrepastoreo, la extracción no planificada de recursos y la expansión de actividades industriales han reducido la extensión y funcionalidad de los ecosistemas naturales, modificando sus procesos ecológicos. La degradación de los ecosistemas forestales ocurre principalmente en territorios rurales y periurbanos; sin embargo, sus consecuencias se manifiestan de manera clara a lo largo de todo el gradiente urbano-rural, afectando tanto a comunidades rurales como a ciudades que dependen de estos territorios para su abastecimiento de agua, regulación climática y estabilidad ambiental (Figura 4).

Estas presiones se intensificaron a partir de la industrialización y que caracterizan a la era del Antropoceno (Aronson et al., 2006), en la cual las actividades humanas (Tabla 1) se han convertido en el principal motor de cambio ambiental, lo que se traduce en múltiples efectos negativos.



Figura 4. Imágenes contrastantes entre ecosistemas sanos (arriba) y ecosistemas que han sido degradados o modificados (abajo) por distintas actividades humanas (Fotos: FOPE.).

En México, por ejemplo, las actividades como la ganadería extensiva, que ocupa una proporción

considerable del territorio, y la minera (Manson et al, 2009; Cecon, 2013), han generado procesos de degradación del suelo asociados a la erosión, compactación, pérdida de nutrientes, disminución del carbono orgánico y reducción de la biodiversidad (Wong y Bradshaw, 2002). Asimismo, la introducción y expansión de especies exóticas invasoras ha alterado el funcionamiento de los ecosistemas, desplazando a especies nativas y reduciendo la diversidad biológica (Cecon, 2013).

Tabla 1. Impactos negativos propiciados por las actividades humanas en los ecosistemas (Ehrlich y Kremer, 2001).

Impactos negativos derivados de las actividades humanas	
Alteración del hábitat	Invasión de especies exóticas
1. Deforestación	1. Islas (cabras, ratas, serpientes, mosquitos)
2. Fragmentación de los bosques	2. Aguas adentro, traídos principalmente por barcos
3. Aprovechamiento selectivo de los bosques	3. Organismos/Enfermedades
4. Supresión del fuego	
5. Conversión a zonas de cultivo	Sobreexplotación de los componentes de los ecosistemas
6. Conversión a pastoreo	1. Alimento- (pichones, búfalo, pesca-salmón)
7. Conversión a infraestructura	2. Productos naturales
8. Minería	3. Recursos estéticos (flores-orquídeas, peces, etc.)
9. Presas y otros desarrollos del agua	4. Usos científicos y educativos (<i>Rana pipiens</i>)
10. Drenaje de las zonas pantanosas	
11. Sedimentos en las orillas de los océanos	
12. Toxinas en los sistemas acuáticos	
13. Deterioro de la capa de ozono	
14. Recreación	
15. Cambio climático	

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: UNA OPORTUNIDAD PARA RECUPERAR PROCESOS Y FUNCIONES

Frente a este escenario, surge la pregunta central: ¿es posible recuperar los ecosistemas degradados? La restauración ecológica ofrece una respuesta afirmativa, aunque reconoce que no siempre es posible regresar a una condición idéntica a la original. La RE se define como el proceso de ayudar a un ecosistema degradado, dañado o destruido a recuperar su estructura, funciones y procesos, de modo que vuelva a sostener vida y bienestar humano (SER, 2004; Walker et al., 2007).

La RE se basa en principios científicos y en el conocimiento acumulado tanto por la ecología tradicional, como por las prácticas de gestión del territorio. Para ser efectiva, debe establecer metas claras, apoyarse en un conocimiento ecológico sólido, incorporar evaluaciones antes y después de su implementación, y adaptarse a las condiciones cambiantes del ecosistema. Más que una acción puntual, la RE es un proceso a mediano y largo plazo que requiere seguimiento y aprendizaje continuo (Palmer et al., 2006)

Desde una perspectiva territorial, la restauración ecológica adquiere significados distintos a lo largo del gradiente urbano-rural. En zonas rurales puede enfocarse en la recuperación de suelos, la productividad forestal y la biodiversidad; en áreas periurbanas cumple un papel clave en la regulación hídrica y la reducción de riesgos ambientales; mientras que en contextos urbanos contribuye al bienestar, la mitigación del calor y la mejora de la calidad ambiental. No obstante, en todos los casos la recuperación de los ecosistemas degradados no es inmediata ni sencilla, requiere de tiempo, esfuerzo y recursos para lograr resultados duraderos. Dos procesos ecológicos que muestran de manea clara el valor de restaurar los ecosistemas forestales para el bienestar humano son la captura y almacenamiento de carbono, esenciales para la regulación del clima, y la regulación hídrica, de la cual depende la disponibilidad del agua.

EL CICLO DEL CARBONO Y LA IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES

El carbono es el componente principal de todo material en la tierra y forma parte de un ciclo biogeoquímico que

hace posible la vida como se conoce. Durante miles de años, este ciclo se mantuvo relativamente equilibrado; sin embargo, dicho balance comenzó a modificarse de manera significativa a partir de la revolución industrial. El ciclo natural del carbono incluye a las plantas, que mediante el proceso de la fotosíntesis capturan o toman CO_2 de la atmósfera para convertirlo en su alimento y poder crecer. Parte de este carbono se almacena en sus estructuras, principalmente en los tallos cuando se trata de plantas perennes, como los árboles. Como resultado de este proceso, también se libera el oxígeno que respiramos (Figura 5).



Figura 5. El ciclo del carbono (AEE, 2020).

Los animales, por su parte, respiran oxígeno y exhalan CO_2 , mientras que las plantas absorben CO_2 liberan O_2 , aunque también emiten CO_2 durante el proceso de respiración. Cuando las plantas y los animales mueren, durante su descomposición una proporción considerable del carbono contenido en sus cuerpos regresa a la atmósfera en forma de gas (CO_2) y una proporción generalmente pequeña puede quedarse almacenado en el suelo.

En la actualidad el equilibrio ciclo del carbono se ha visto alterado principalmente por el uso de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón mineral. Este carbono permaneció almacenado en el subsuelo durante millones de años hasta que fue extraído y utilizado por el hombre. Como consecuencia, se emiten a la atmósfera cantidades adicionales de CO_2 . A nivel global, alrededor de 38 gigatoneladas (38,000 millones de toneladas) de CO_2 se liberan anualmente de forma no natural, de las cuales

aproximadamente el 88% provienen de actividades industriales donde se utilizan combustibles fósiles. No obstante, existen sumideros (lugares de almacén) naturales de carbono que ayudan a amortiguar estas emisiones, entre los que destacan los océanos –el mayor almacén del planeta-, seguido por los suelos, la vegetación (como los bosques) y la atmósfera (Friedlingstein et al., 2025).

En este contexto, los bosques destacan por estar constituidos por árboles longevos y de grandes dimensiones, capaces de capturar alrededor de 5,000 millones de toneladas de CO_2 a escala global (CIFOR 2009), además de almacenarlo en sus diferentes estructuras. Así como existen diversos sumideros de carbono en el planeta, dentro de los ecosistema forestales el carbono se distribuye en cinco grandes reservorios: la biomasa aérea (tronco, ramas y hojas), la biomasa subterránea, la madera muerta -tanto en pie como sobre el terreno-, el mantillo y el carbono orgánico del suelo (COS) (IPCC, 2003).

La deforestación y la reducción de la superficie forestal disminuyen de manera directa la capacidad de estos ecosistemas para capturar y almacenar carbono, alterando el equilibrio del ciclo a lo largo del gradiente urbano-rural. Ante la creciente pérdida de bosques a nivel global, resulta fundamental no solo frenar la deforestación, sino también impulsar acciones de restauración ecológica que permitan recuperar los procesos de captura -mediante la fotosíntesis- y almacenamiento de carbono, reforzando así el papel de los ecosistemas forestales como aliados clave frente al cambio climático.

La restauración ecológica de los ecosistemas forestales –localizados principalmente en territorios rurales y periurbanos- se vuelve una estrategia clave para recuperar la capacidad de captura y almacenamiento de carbono contribuyendo a mitigar emisiones generadas en las ciudades y reforzando la interdependencia a lo largo del gradiente urbano-rural.

EL CICLO DEL AGUA: DEL BOSQUE A LA CIUDAD

El agua no aparece por arte de magia en una llave o en un canal de riego. Depende del clima, pero también de cómo se comporta el paisaje. En una cuenca, la

vegetación y el suelo determinan si el agua se infiltra y recarga acuíferos, se almacena temporalmente, o se escurre rápidamente causando erosión e inundaciones.

Cuando un ecosistema forestal está sano, se favorece una mejor infiltración; las raíces crean espacios (poros) en el suelo y la hojarasca amortigua la lluvia reduciendo el impacto directo de las gotas. Esto permite que el agua entre al suelo en lugar de correr sobre la superficie. También se reduce la erosión, ya que cuando el suelo queda desnudo, la lluvia lo golpea directamente y arrastra partículas; en cambio, con cobertura vegetal, el suelo se protege y se mantiene más estable. Los ecosistemas forestales también ayudan a regular los escurrimientos, ya que al disminuir la velocidad y el volumen del agua superficial pueden atenuar los picos de escurrimiento durante lluvias intensas. Aunque en eventos extremos no se eliminan las inundaciones, sí se contribuye a disminuir los impactos más severos y a distribuir el agua de manera más gradual en el tiempo. Finalmente, la vegetación forestal influye en la evapotranspiración, y con ello, en la humedad local, contribuyendo a regular las condiciones ambientales del entorno.

Cuando un ecosistema forestal se degrada, el funcionamiento del ciclo del agua se altera de manera significativa. En general, se presenta un mayor escurrimiento superficial (Figura 6), aparecen cárcavas y se intensifica la pérdida de suelo; ríos y presas se azolvan, disminuyendo su capacidad de almacenamiento y recarga, lo que reduce o incluso elimina la provisión de bienes y servicios esenciales para la sociedad. Estos impactos afectan directamente a las comunidades rurales, por la pérdida de suelo productivo y disponibilidad de agua, pero también a las ciudades, al aumentar el riesgo de inundaciones, el azolve de infraestructura hidráulica y la inseguridad hídrica. Frente a este escenario, la restauración ecológica de ecosistemas degradados se convierte en un factor clave, ya que permite restablecer procesos hidrológicos fundamentales mediante la recuperación de la cobertura vegetal y la estructura del suelo (Banton et al., 2025). La reintroducción de vegetación nativa, particularmente árboles y arbustos, incrementa la porosidad del suelo, favorece la infiltración del agua de lluvia y reduce la erosión, contribuyendo a la recarga de los acuíferos y al mantenimiento del flujo base de ríos, incluso durante la

temporada seca (Ilstedt et al., 2016; Bruijnzeel et al., 2025).

A escala de cuenca, la evidencia científica indica que los paisajes restaurados pueden amortiguar eventos hidrológicos extremos y fortalecer la seguridad hídrica local y regional. De esta forma, la restauración ecológica no solo representa una estrategia ambiental, sino también social y económica cuyos beneficios se reflejan tanto en comunidades rurales –al mejorar la estabilidad productiva y conservar la biodiversidad– como en las zonas urbanas, al reducir riesgos, mejorar la calidad ambiental y disminuir la vulnerabilidad climática a lo largo del gradiente urbano-rural (Van-Meerveld y Seibert, 2025).

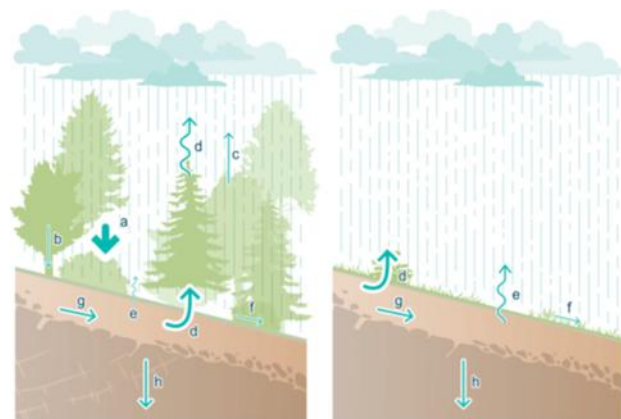


Figura 6. Principales flujos hidrológicos en un sitio forestado (izquierda) y uno no forestado (derecha): (a): Precipitación; (b): Escurrimiento foliar; (c): Pérdida por interceptación; (d): Absorción y transpiración de agua por las raíces; (e): Evaporación del suelo y la hojarasca; (f): Escurrimiento superficial; (g): Escurrimiento lateral subsuperficial; (h): Recarga de aguas subterráneas (Van-Meerveld y Seibert, 2025).

BENEFICIOS DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA COMUNIDADES RURALES Y URBANAS

La RE genera beneficios que trascienden lo ambiental y se extienden a las dimensiones social y económica. En las comunidades rurales, la recuperación de los ecosistemas forestales mejora la estabilidad del suelo, reduce la erosión, favorece la disponibilidad de agua y fortalece actividades productivas como la agricultura, la ganadería y el aprovechamiento forestal. Asimismo, se

recupera la producción de productos forestales maderables y no maderables, se reducen los riesgos por incendios severos y degradación progresiva y, en general, se conserva la biodiversidad que sostiene funciones ecológicas clave. De todo esto se benefician también las comunidades urbanas, ya que una mejor conservación de las cuencas contribuye a una mayor seguridad hídrica, reduce los azolves y daños por escurrimientos extremos, mejora la calidad del aire y el bienestar asociado a las áreas verdes, y disminuye la vulnerabilidad climática a escala regional.

CONCLUSIONES

La población humana depende de manera directa de los bienes y servicios que proveen ecosistemas forestales sanos. La degradación de estos ecosistemas compromete procesos ecológicos fundamentales y aumenta la vulnerabilidad de comunidades rurales y urbanas. En este contexto la restauración ecológica representa una herramienta clave para recuperar funciones ecológicas, fortalecer la resiliencia socioambiental y sostener el bienestar humano.

Reconocer la interdependencia que existe entre las zonas rurales que generan servicios ecosistémicos y las ciudades que los demandan constituye un primer paso para avanzar hacia una gestión territorial más integrada. A lo largo del gradiente urbano-rural, la RE no solo permite recuperar ecosistemas degradados, sino también reconstruir la relación entre sociedad y naturaleza, sentando las bases para un futuro más sostenible y equitativo.

Literatura citada

- Agencia Espacial Europea (AEE). (2020) Paquete de recursos educativos de la iniciativa sobre el cambio climático - El ciclo del carbono. https://climate.esa.int/media/documents/ESA_CCI_paquete_de_recursos_educativos_El_Ciclo_Del_Carbonio_11_14.pdf
- Aronson, J.; Blignaut, J.N.; Milton, S.J.; Clewell, A.F. (2006) Natural capital: The limiting factor. *Ecological Engineering*, 28(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.05.012>
- Banton, O.; St-Pierre, S.; Banton, G.; Lares, N.; Triganon, A. (2025) A Review of the key impacts of deforestation and wildfires on water resources with regard to the production of drinking water. *Hydrology*, 12(10), 271-291. <https://doi.org/10.3390/hydrology12100271>
- Bruijnzeel, L.A.; Peña-Arancibia, J.L.; Sheil, D.; et al. (2025) Potential for improved groundwater recharge and dry-season flows through forest landscape restoration on degraded lands in the tropics. *Forest Ecosystems*, 14, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100376>
- Ceccon, E. (2013) Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y social (2013) Centro Regional de Investigaciones Disciplinarias. UNAM. <https://libros.crim.unam.mx/index.php/lc/catalog/view/165/557/1271-1>
- Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). (2009) Sencillamente REDD: Guía de CIFOR sobre bosques, cambio climático y REDD. Bogor, Indonesia: CIFOR. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/2850/>
- Ehrlich, P.R.; Kremer, C. (2001) Human Effects on ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*, 3, 383-393.
- Friedlingstein, P.; O'Sullivan, M.; Jones, M.W.; et al. (2025) Global Carbon Budget 2025, *Earth System Science Data*, 6-38. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-659>
- Gómez-Baggethun, E.; Groot, R. (2007) Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 16(3), 4-14. <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/88/85>
- Ilstedt, U.; Bargués-Tobella, A.; Bazié, H.R.; et al. (2016) Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/srep21930>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>
- Levine, J.M.; Bascompte, J.; Adler, P.B.; Allesina, S. (2017) Beyond pairwise mechanisms of species coexistence in complex communities. *Nature*, 546(7656), 56-64. <https://doi.org/10.1038/nature22898>



Manson, R.H.; Jardel-Peláez, E.J.; Jiménez-Espinosa, M.; et al. (2009) Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En: CONABIO (ed.), Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 131–184. http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II03_Perturbaciones%20y%20desastres%20naturales_Impactos%20sobre.pdf

Palmer, M.A.; Falk, D.A.; Zedler, J.B. (2006) “Ecological Theory and Restoration Ecology”. En: Foundations of Restoration Ecology: Island Press, pp. 3–26. https://www.researchgate.net/publication/278028683_Ecological_Theory_and_Restoration_Ecology

Society for Ecological Restoration (SER). (2004) Principios de SER International sobre la restauración ecológica, Tucson, AZ: Society for Ecological Restoration International, pp. 1–15. www.ser.org

Programa ONU-REDD. (2010) Climate change and the role of forest: A community manual. Programa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (ONU-REDD). https://www.un-redd.org/sites/default/files/2021-10/CI_Climate_Change_and_the_Role_of_Forests_Community_Manual.pdf

Thompson, P.L.; MacLennan, M.M.; Vinebrooke, R.D. (2018) Species interactions cause non-additive effects of multiple environmental stressors on communities. *Ecosphere*, 9(11), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2518>

Van-Meerveld I.; Seibert, J. (2025) Reforestation effects on low flows: Review of public perceptions and scientific evidence. *Waters Water*, 12(1), 1–30. <https://doi.org/10.1002/wat2.1760>

Walker, L.R.; Walker, J.; Moral, R. (2007) Forging a New Alliance Between Succession and Restoration. En: Walker, L.R., Walker, J., Hobbs, R.J. (Eds.) Linking Restoration and Ecological Succession. New York, NY: Springer, pp. 1–18. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35303-6_1

Wong, M.H.; Bradshaw, A.D. (2002) The Restoration and Management of Derelict Land Modern

Approaches. London: World Scientific Publishing. <https://doi.org/10.1142/5179>






Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

De la nube al vaso: la captación de agua de lluvia como Solución Basada en la Naturaleza para un futuro con agua

From cloud to cup: rainwater harvesting as a Nature-Based Solutions for a water-secure future

María de Lourdes Maya-Salazar ¹, Ángel Roberto Martínez-Campos ^{1,*}, Francisco Herrera-Tapia ¹, Marlín Pérez-Suárez ¹, Patricia Hernández de la Rosa ²

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera El Cerrillo-Piedras Blancas s/n, Toluca de Lerdo, 50295, Estado de México, México.

² Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, 56264, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: armartinezc@uaemex.mx

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

28/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

El crecimiento urbano, la concentración poblacional y la variabilidad climática han incrementado la presión sobre los sistemas de abastecimiento de agua, un recurso esencial y cada vez más limitado. En este contexto, la captación y almacenamiento de agua de lluvia se ha consolidado en México como una alternativa viable para complementar las fuentes convencionales y avanzar hacia un manejo del agua más sostenible. Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), aplicables en entornos urbanos, rurales e indígenas, se consideran soluciones basadas en la naturaleza porque reproducen procesos del ciclo hidrológico, como la captación y filtración, similares a los que ocurren en ecosistemas forestales. Su implementación contribuye a reducir la presión sobre fuentes tradicionales, disminuir riesgos asociados a la escorrentía e inundaciones, favorecer la recarga de acuíferos y fortalecer la resiliencia frente a eventos climáticos extremos como las sequías. El análisis de experiencias desarrolladas en distintos contextos del país muestra que la captación de agua de lluvia es una estrategia técnicamente viable y socialmente pertinente cuando se adapta a las condiciones locales y se acompaña de procesos de apropiación social. En zonas urbanas, estos sistemas permiten disminuir la dependencia de redes centralizadas e incrementan la capacidad de recuperación ante eventos extremos de temperatura y precipitación. En contextos rurales e indígenas, fortalecen la autosuficiencia hídrica y apoyan actividades domésticas y productivas. En conjunto, la captación de agua de lluvia se plantea como una estrategia integral que articula conocimiento científico, saberes locales y políticas públicas, contribuyendo a una gestión del agua más equitativa, sostenible e incluyente.

Palabras clave: captación, cosecha de lluvia, gestión hídrica, gradiente urbano-rural, resiliencia socioambiental, sostenibilidad.



ABSTRACT

Increasing pressure on water supply systems, driven by urban growth, population concentration, and climate variability, calls for integrated approaches that recognize territorial heterogeneity in water resource management. In this context, the urban-rural gradient, understood as a socioecological continuum that explicitly includes the peri-urban transition, provides a framework to analyze how water availability, access, and management vary according to the intensity of urbanization. Along this gradient, Rainwater Harvesting Systems (SCALL) emerges as Nature-based Solution (NbS) capable of adapting to diverse contexts by reproducing key processes of the hydrological cycle, such as interception systems; in peri-urban areas, they function as hybrid systems that integrate formal and informal infrastructure; and in rural and indigenous contexts, they strengthen water self-sufficiency and community resilience. Based on the analysis of experiences in Mexico, this study shows that the effectiveness of rainwater harvesting is not uniform, but rather depends on its position within the urban-rural gradient and its articulation with social, institutional, and ecological processes. In this sense, rainwater harvesting is framed as an adaptable socioecological strategy, capable of contributing to more equitable, sustainable, and inclusive water management.

Keywords: catchment, rainwater harvesting, socio-environmental resilience, sustainability water management, urban-rural gradient.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano y la concentración poblacional han intensificado uno de los desafíos más críticos de las sociedades contemporáneas: garantizar un suministro de agua suficiente, seguro y sostenible. Este desafío se enmarca en una crisis global del agua, donde se reconoce que la disponibilidad hídrica no solo depende de factores biofísicos, sino también de procesos sociales, económicos e institucionales, lo que exige enfoques integrados para su gestión (UNESCO, 2019). El agua como recurso esencial para la vida se encuentra cada vez más comprometido por procesos de contaminación, degradación ambiental y una creciente dependencia de sistemas de distribución, cuya capacidad resulta insuficiente frente a la complejidad y dinámica de los territorios actuales (CONAGUA, 2025).

Ante este panorama, el aprovechamiento de fuentes no convencionales, como la captación de agua de lluvia, emerge como una alternativa estratégica para fortalecer la gestión hídrica. Esta práctica, presente desde tiempos ancestrales, permite extender el ciclo de aprovechamiento del agua y destaca por su eficiencia energética, económica y ambiental. En México, caracterizado por una amplia diversidad climática y una marcada estacionalidad de las precipitaciones, la

captación pluvial se ha consolidado como un componente clave de la gestión integral del agua y como una práctica relevante para la conservación de los recursos hídricos. No obstante, su expansión a mayor escala requiere el fortalecimiento de políticas públicas y marcos regulatorios que garanticen su implementación segura, equitativa y ambientalmente responsable (CONAGUA, 2023).

En entornos urbanos, la captación de agua de lluvia se posiciona como una estrategia complementaria frente a la creciente presión sobre los sistemas convencionales de abastecimiento. En este contexto, los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL) representan una solución versátil, aplicable en viviendas, escuelas, mercados e industrias, con beneficios inmediatos cuando se implementan bajo marcos normativos adecuado y se acompañan de procesos de capacitación sostenida. Su viabilidad depende de evaluaciones integrales que consideren indicadores hidrológicos, sanitarios, económicos y sociales, así como de estrategias de diseño adaptadas a la heterogeneidad urbana y climática local (Medina e Ibarra, 2024).

En este contexto, el presente artículo analiza los SCALL como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), destacando su potencial para integrarse en distintos puntos del gradiente urbano-rural, entendido como un



continuo socioecológico que incluye explícitamente la transición periurbana. A través de este enfoque, se busca evidenciar su contribución para reducir la dependencia de redes centralizadas, fortalecer la resiliencia comunitaria y avanza hacia una gestión hídrica más sostenible.

AGUA DE LLUVIA: UNA RESPUESTA A LOS DESAFÍOS URBANOS Y RURALES

Los territorios urbanos y rurales conforman un gradiente socioespacial en el que se manifiestan problemáticas hídricas diferenciadas. Mientras que las zonas urbanas densas presentan alta demanda de agua, mayores niveles de contaminación y predominio de superficies impermeables, los territorios rurales suelen favorecer la infiltración pluvial, aunque enfrentan limitaciones en infraestructura y acceso a servicios especializados. Estas diferencias evidencian la necesidad de implementar soluciones adaptadas a las dinámicas socioecológicas de cada contexto. En este sentido, la captación de agua de lluvia emerge como una estrategia flexible que puede ajustarse a las condiciones específicas del territorio a lo largo del gradiente urbano-rural. En esto se consideran por tanto aspectos como superficie de captación, la calidad del agua, los usos previstos y los impactos ambientales asociados. De este modo, comprender la variabilidad a lo largo del gradiente urbano-rural resulta fundamental para diseñar e implementar sistemas de captación pluvial que respondan de manera efectiva a las necesidades locales, desde una perspectiva socioecológica.

LA CIENCIA DETRÁS DE LA LLUVIA

Para comprender el potencial de la captación pluvial, es fundamental reconocer el papel de la lluvia en los sistemas naturales. Lejos de ser únicamente un fenómeno asociado a inundaciones en contextos urbanos, la lluvia constituye una fuente renovable esencial que recarga ríos, humedales y acuíferos. A escala global, el aprovechamiento de la lluvia forma parte de estrategias de adaptación al cambio climático, particularmente en regiones con alta variabilidad en la precipitación, donde su captura contribuye a reducir la vulnerabilidad hídrica y fortalecer la seguridad del agua (FAO, 2020). Medidas como la captación de techos, los jardines de lluvia, los pavimentos permeables y la recarga artificial de

acuíferos posibilitan que las ciudades pueden almacenar agua, reduzcan la escorrentía y disminuyan la demanda de agua potable. En este sentido, la integración de infraestructura verde con políticas públicas y programas comunitarios permite transformar eventos pluviales extremos, tradicionalmente considerados problemáticos, en oportunidades para fortalecer la resiliencia hídrica y generar beneficios económicos. Asimismo, acciones a pequeña escala, como el uso de cisternas o techos verdes, pueden amplificar su impacto cuando se implementan de manera colectiva en barrios y municipios, favoreciendo una gestión más eficiente del agua (Ortiz-Escoto et al., 2024). A nivel global, la captación de agua de lluvia ha demostrado ser una estrategia ampliamente utilizada en diversas actividades, particularmente en contextos rurales. Se estima que aproximadamente 100 millones de personas dependen parcial o totalmente de estos sistemas para satisfacer sus necesidades hídricas (Ortiz-Escoto et al., 2024). En este contexto, la ciencia no solo permite dimensionar la relevancia del fenómeno, sino que también valida la eficiencia de los sistemas de captación y proporciona las bases técnicas necesarias para su integración en políticas públicas orientadas a una gestión sostenible del agua, como SBN, particularmente relevante a lo largo del gradiente urbano-rural, donde las condiciones de disponibilidad, infraestructura y acceso al agua varían significativamente.

SBN Y SCALL

Las SBN se definen como estrategias y se sustentan en marcos internacionales como la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, 2019) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), que destacan su capacidad para integrar beneficio ecológicos, sociales y económicos en contextos de alta complejidad socioambiental. Estas estrategias pueden implementarse a distintas escalas, desde acciones locales hasta intervenciones territoriales amplias, lo que les confiere un alto potencial de adaptación a contextos diversos (Cohen-Shacham et al., 2019).

Entre las SBN orientadas a la gestión pluvial urbana destaca la infraestructura verde-azul, entendida como un sistema interconectado de elementos naturales y seminaturales –como vegetación, humedales y cuerpos de agua– que proporciona servicios ecosistémicos clave,



entre ellos la conservación de biodiversidad, la regulación climática, el control de escorrentías y manejo sostenible de drenaje urbano (Bertrand-Krajewski, 2021). En este sistema, los árboles urbanos desempeñan un papel central, ya que aportan beneficios tangibles que mejoran la calidad de vida, la seguridad y la salud pública, al tiempo que contribuyen a la resiliencia y sostenibilidad de las ciudades (FAO, 2016), contribuyendo a la resiliencia y sostenibilidad de las ciudades (Phillips y Atchison, 2020). Desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos, la vegetación urbana contribuye de manera significativa a la regulación hídrica mediante procesos como la intercepción, infiltración y almacenamiento temporal del agua, reduciendo la escorrentía y mejorando la calidad del agua (MEA, 2005).



Figura 1. Comparación entre un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) y el proceso natural que realizan los árboles para aprovechar el agua de lluvia. Imagen generada con inteligencia artificial mediante DALL.E 3 (OpenAI, 2026).

En este contexto, los SCALL pueden entenderse como infraestructuras que reproducen funciones naturales similares a las de los árboles. Estos sistemas capturan, conducen, filtran y almacenan el agua pluvial, de manera análoga a procesos ecosistémicos como la intercepción, infiltración y regulación hidrológica propios de los sistemas forestales. Mientras que las tuberías y filtros canalizan y depuran el recurso, las copas de los árboles interceptan la lluvia, permitiendo que una parte se

evapore y otra se infiltre o escurra por el tronco, reduciendo el volumen de agua que alcanza el suelo (Levia y Carlyle-Moses, 2011; Pérez-Suárez et al., 2014) (Figura 1). Asimismo, las raíces incrementan la infiltración y favorecen la retención de agua en el suelo y contribuyendo a disminuir la escorrentía superficial (Burgess et al., 1998). De esta manera, los SCALL no solo representan una solución técnica, sino una estrategia que integra principios ecológicos en la gestión del agua, fortaleciendo su papel como SBN, a lo largo del gradiente urbano-rural.

Los SCALL emplean procesos naturales para gestionar el agua, reducir riesgos y fortalecer la resiliencia en contextos urbanos y rurales. Al aprovechar la precipitación *in situ*, contribuyen a disminuir la presión sobre fuentes convencionales, controlar la escorrentía y reducir el riesgo de inundaciones, además de evitar que contaminantes alcancen cuerpos receptores. Asimismo, favorecen la recarga de acuíferos mediante la infiltración del agua en el suelo. En conjunto, los SCALL se consolidan como una alternativa sostenible que contribuye a mitigar los impactos de la urbanización y las limitaciones en infraestructura, al tiempo que promueve un equilibrio socioecológico al mejorar la disponibilidad de agua, la calidad ambiental y la capacidad de adaptación de las comunidades frente al cambio climático consolidándose como un componente clave de las estrategias de manejo del agua basado en la naturaleza.

COMPONENTES DE LOS SCALL

La captación de agua de lluvia recolecta precipitación de superficies impermeables (techos, patios, vías) para almacenarla en tanques o infiltrar en acuíferos, evitando pérdidas por escorrentía. Un SCALL eficiente, de acuerdo con (Gleason-Espíndola y Corona-Sánchez, 2020), integra siete fases: 1) Área de captación: seleccionar y mantener materiales (tejas, metal, etc.) para proteger la calidad; 2) Sistemas de transporte: tuberías y conductos dimensionados hidráulicamente; 3) Separador de primeras lluvias: descarta los primeros litros más contaminados; 4) Tanque de almacenamiento: con entrada, desbordamiento y salida hacia el sistema de bombeo; 5) Filtración: según el uso final (riego, sanitario, potable con tratamiento adicional); 6) Bombeo y presurización: equipos para entregar agua con la presión requerida; 7) Distribución: red o puntos de uso que

garanticen calidad y seguridad. Los beneficios finales son: la reducción de inundaciones, proveer agua para usos no potables, ahorrar recursos y aumentar la resiliencia hídrica. Sin embargo, algunas consideraciones críticas son: el diseño acorde al volumen de lluvia y a la demanda, la selección de materiales, el mantenimiento periódico, las medidas sanitarias, y los costos de implementación.

LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA: ENTRE LO URBANO Y LO RURAL

La urbanización transforma los paisajes naturales mediante la construcción de superficies impermeables, lo que incrementa el volumen y la velocidad de la escorrentía, reduce la infiltración y afecta la recarga de los mantos acuíferos (Arnold y Gibbons, 1996). En ecosistemas naturales, alrededor del 50% del agua se infiltra en el suelo, 25% circula superficialmente y otro 25% en forma profunda; la escorrentía representa ~10% y la evapotranspiración ~40%. En contraste, en áreas urbanas que llegan a presentar entre el 70–100% de impermeabilización, la infiltración disminuye a 15%, la escorrentía aumenta a ~55% y la evapotranspiración baja a ~30% (Arnold y Gibbons, 1996).

Los territorios urbanos y rurales conforman un continuum espacial con problemáticas hídricas diferenciadas. Las zonas urbanas densas presentan alta actividad industrial y de servicios, menor permeabilidad del suelo, mayor contaminación y demanda de agua. En cambio, los pueblos rurales y regiones agrícolas o boscosas muestran mayor infiltración pluvial, aunque con infraestructuras limitadas y menor acceso a servicios especializados (Montiel-Rogel, 2024). Estas diferencias reflejan la presión antrópica y la disponibilidad desigual de infraestructura, lo que exige soluciones adaptadas a las dinámicas socioecológicas locales. En este sentido, la distribución desigual de infraestructura y servicios ambientales entre zonas urbanas y rurales refleja patrones de inequidad socioambiental, donde las poblaciones más vulnerables enfrentan mayores limitaciones en el acceso al agua y a soluciones sostenibles (Anguelovski, 2017).

En las zonas urbanas, los paisajes naturales se transforman en superficies impermeables, impidiendo que el agua se infiltre en el subsuelo y la obliga a fluir hacia los sistemas de alcantarillado. La captación de

agua en estas zonas se destina principalmente a uso doméstico y mantenimiento. La técnica más común consiste en recolectar el agua de techos mediante canaletas y tuberías, dirigiéndola a tanques de almacenamiento (Figura 2). Este recurso se emplea en tareas domésticas diarias que no requieren de calidad de agua potable como descargas de inodoros, riego de jardines, limpieza en general, labores de mantenimiento como llenado de piscinas, lavado de fachadas, lo que permite el ahorro y sustitución de agua potable.



Figura 2. Ciclo urbano de captación de agua de lluvia de uso doméstico. Imagen tomada de <https://share.google/pIIt6KnLSY4qQfkPU>.

Actualmente, se desarrollan ciudades verdes que implementan cubiertas verdes (Figura 3), drenajes urbanos sostenibles y pavimentos permeables. Idealmente, este proceso de captación busca convertir la urbe en un elemento vivo capaz de autorregular su temperatura, la humedad y la circulación hídrica (Medina e Ibarra, 2024).

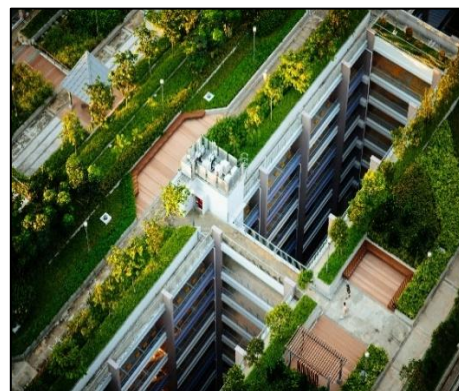


Figura 3. Ciudades verdes con aprovechamiento de agua de lluvia (imagen tomada de Doe, s.f.).

En las zonas rurales, la captación de agua de lluvia es esencial para consumo humano y actividades cotidianas, es decir de uso doméstico, especialmente donde el acceso a la red hídrica es limitado. La recolección es domiciliaria, utilizando sistemas básicos en tejados de viviendas y escuelas, sin embargo; invertir en infraestructura permitiría ampliar sus aplicaciones a otras como riego de huertos, criaderos de peces, consumo humano e infiltración (Figura 4). Por lo anterior la captación de agua de lluvia, en ambientes urbanos o rurales, se convierte en una herramienta esencial para garantizar acceso equitativo y sostenibilidad hídrica.

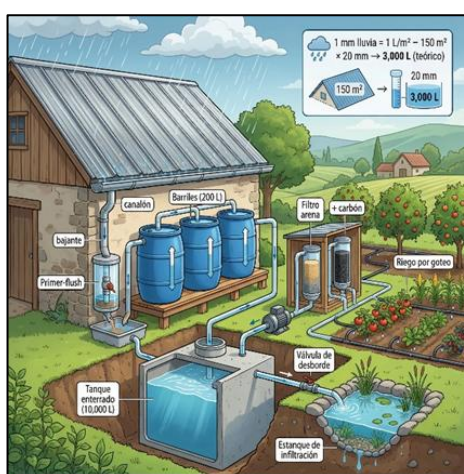


Figura 4. Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL) rural con mayor aprovechamiento de recurso. Imagen generada con inteligencia artificial mediante DALL.E 3 (OpenAI, 2026).

La captación pluvial es una solución basada en la naturaleza adaptable a cada territorio urbano o rural (Tabla 1). Al comparar estos contextos es posible comprender cómo un mismo recurso ofrece soluciones flexibles. Una ciudad puede almacenar su propia lluvia, reduciendo la dependencia de fuentes habituales; una zona rural puede fortalecer su agricultura local e implementar sistemas en escuelas y comunidades sin acceso a la red municipal. Esta comparación evidencia que, aunque los desafíos difieren, ambos entornos pueden beneficiarse significativamente de la captación pluvial.

Tabla 1. Comparación de algunas características de los Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en ambientes urbanos y rurales.

Captación de agua de lluvia	Urbano	Rural
Capacidad de captación	Alta por superficies disponibles y precipitación media anual.	Alta por espacio en techos, microcuencas y terrenos que captan escorrentías
Calidad del agua de lluvia	Mayor contaminación atmosférica (tráfico, industria, quema de residuos).	Agua más limpia por menor presencia de contaminantes.
Costo de implementación	Más caro por espacio limitado	Variable, dependiendo la infraestructura y el uso del agua
Usos principales	Domésticos, escolares	Domésticos, agrícolas, comunitarios
Desafíos	Espacio reducido; necesidad de mayor filtración para calidad aceptable	Mayor espacio disponible, pero requiere optimizar el aprovechamiento
Oportunidades	Reducir inundaciones y presión sobre la red municipal	Mejorar la autosuficiencia hídrica

GOTAS QUE SE GUARDAN: REDES LOCALES DE AGUA PARA LA VIDA

En contextos donde la lluvia es un recurso vital pero impredecible, diversas comunidades han creado redes locales de gestión del agua que integran conocimiento tradicional y técnicas hidráulicas. Estas redes están conformadas por elementos como presas, estanques, bordos y ríos, que permiten transformar cada evento de precipitación en reservas de agua destinada a distintos usos, como agricultura, el consumo animal y doméstico, particularmente en periodos de estiaje (CONAGUA, 2025). Estas prácticas no solo optimizan el aprovechamiento del recurso, sino que también fortalecen la resiliencia frente al cambio climático y la gobernanza comunitaria, tanto en contextos rurales como en zonas de transición urbano-rural.

En este entramado, las presas –construidas para interceptar y almacenar escurrimientos– retienen grandes volúmenes de agua durante lluvias intensas. Este almacenamiento permite abastecer parcelas agrícolas extensas, proporcionar agua al ganado y, con el tratamiento adecuado, cubrir necesidades domésticas en épocas secas (CONAGUA, 2025). Por su parte, los estanques, conocidos como jagüeyes a menor escala, funcionan como reservorios en unidades productivas familiares. Se trata de excavaciones que captan agua de lluvia o escorrentía superficial, utilizadas para riego de hortalizas, consumo animal y otras actividades; cuando se recubren con materiales como arcilla, reducen las

pérdidas por infiltración y aumentan su eficiencia (CONAGUA, 2023).

En las zonas de ladera, los bordos –pequeñas estructuras de tierra construidas en pendientes– cumplen una función clave al ralentizar el flujo superficial, disminuir la erosión y favorecer la infiltración del agua en el suelo. Esta práctica, conocida como cosecha de agua *in situ*, contribuye a mejorar la humedad del suelo y a la recarga de acuíferos. En este sentido, los bordos pueden entenderse como “esponjas” construidas con conocimiento local, que regulan el escurrimiento y optimizan el aprovechamiento del agua (CONAGUA, 2025).

Los ríos, como corredores naturales, integran el flujo hídrico a escala de cuenca, permitiendo el transporte y distribución del agua hacia zonas agrícolas más amplias mediante canales o sistemas de bombeo. Su manejo adecuado resulta fundamental para equilibrar el aprovechamiento humano con la conservación ecológica. La verdadera resiliencia emerge cuando estos elementos se articulan en red. Los bordos retienen agua en zonas altas, que pueden emerger posteriormente como manantiales agua abajo; los excedentes se almacenan en estanques y presas mientras que los ríos regulan el flujo final del sistema (Figura 5). Esta integración genera una red hídrica diversificada que permite a las comunidades adaptarse a la variabilidad climática y asegurar el acceso al agua (CONAGUA, 2023).



Figura 5. Bordo las maravillas, muestra de la recolección de agua de lluvia utilizada para riego (Fotografía: MLMS).

En este sentido, la captación de agua de lluvia trasciende su dimensión técnica para consolidarse como una estrategia comunitaria de adaptación, que articula saberes locales y soluciones tecnológicas, fortaleciendo la seguridad hídrica y la resiliencia de los territorios (CONAGUA, 2025), particularmente relevante en contextos rurales y periurbanos dentro del gradiente urbano-rural, donde estas redes suplen vacíos de infraestructura formal.

SCALL EN MEXICO: INOVACION HIDRICA CON IMPACTO COMUNITARIO

En México, la captación de agua de lluvia ha evolucionado de una práctica aislada a una estrategia técnica y socialmente viable en diversos contextos territoriales. Cuando los sistemas de captación se diseñan adecuadamente y se acompañan de procesos de capacitación y apropiación social, contribuyen de manera significativa a la autosuficiencia hídrica y a una gestión más sostenible del agua.

En contextos urbanos, algunos de los ejemplos más representativos se desarrollan en espacios académicos, donde la disponibilidad de recursos y capacidades técnicas ha permitido implementar sistemas integrales. Destaca el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia (CICADELLI), que integra procesos de captación, tratamiento y uso del agua para distintos fines, además de funcionar como un espacio de formación y transferencia de conocimiento (Escamilla, 2010). De manera similar, el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR; Figura 6) ha desarrollado un sistema de capacidad de almacenamiento de 144,000 litros, capaz de cubrir la totalidad de las necesidades hídricas de su comunidad académica, evidenciando la viabilidad técnica de estos sistemas en contextos institucionales.

En contraste, en zonas rurales e indígenas, la captación pluvial ha adquirido un papel transformador al responder a condiciones de escasez y marginación. Iniciativas como Ha Ta Tukari –“Agua Nuestra Vida”, en comunidades Wixarika, muestran cómo la instalación de sistemas domiciliarios, acompañada de capacitación y organización comunitaria, puede mejorar el acceso al agua y fortalecer la resiliencia local (De la Torre-Díaz,

2025). Asimismo, estrategias como el Programa Nacional para la Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en zonas rurales (PROCAPTAR), han impulsado la implementación de estos sistemas en localidades rurales, promoviendo soluciones descentralizadas que contribuyen a la autosuficiencia hídrica (CONAGUA, 2023).

En conjunto, estas experiencias evidencian que la captación de agua de lluvia no es una solución uniforme sino una estrategia adaptable cuya efectividad depende de su articulación con las condiciones socioecológicas del territorio. Fortaleciendo su papel como SBN a lo largo del gradiente urbano-rural, los SCALL adquieren funciones diferenciadas, desde la optimización de infraestructura en ciudades hasta el fortalecimiento de la autosuficiencia en comunidades rurales. De este modo, la captación pluvial se consolida como una SBN que integra capacidades técnicas, procesos sociales y políticas públicas, posicionándose como una alternativa clave para avanzar hacia un manejo del agua más equitativo, sostenible e incluyente en México. No obstante, su implementación a gran escala enfrenta desafíos estructurales asociados a la gobernanza del agua, la inversión pública y la capacidad institucional, lo que limita su adopción en contextos de alta marginación (CEPA, 2018).

CONCLUSIONES

La captación y almacenamiento de agua de lluvia, entendida como una Solución Basada en la Naturaleza, representa una estrategia clave para enfrentar los desafíos contemporáneos de la gestión hídrica en contextos de creciente presión ambiental y social. Al reproducir procesos fundamentales del ciclo hidrológico, los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) permiten aprovechar la precipitación como un recurso local, reducir la presión sobre fuentes convencionales y mitigar riesgos asociados a la escorrentía y a los eventos climáticos extremos. El análisis de las experiencias presentadas evidencia que la efectividad de la captación pluvial no es uniforme, sino que responde a las condiciones específicas de cada territorio. A lo largo del continuum territorial, estos sistemas adquieren funciones diferenciadas: en contextos urbanos contribuyen a la regulación hídrica y a la optimización del uso del agua; en zonas periurbanas, permiten atender desigualdades en el acceso; y en contextos rurales e

indígenas, fortalecen la autosuficiencia y la resiliencia comunitaria.

En este sentido, la captación de agua de lluvia trasciende su carácter tecnológico para consolidarse como una estrategia socioecológica que articula conocimiento científico, saberes locales y políticas. Su implementación no solo implica innovaciones técnicas, sino también transformaciones en la forma en que las sociedades gestionan, valoran y se relacionan con el agua.

Avanzar hacia su adopción a mayor escala requiere reconocer la diversidad territorial y diseñar enfoques diferenciados que respondan a la heterogeneidad del continuum territorial. En un contexto de cambio climático y creciente urbanización, la integración de soluciones basadas en la naturaleza como los SCALL representa una oportunidad estratégica para transitar hacia modelos de desarrollo más resilientes, donde el agua se gestione como un elemento central del sistema socioecológico. Captar lluvia no es únicamente una alternativa para complementar el abastecimiento: es una vía para reconfigurar la relación entre sociedad, territorio y agua, orientándola hacia modelos más resilientes, equitativos y sostenibles.

Literatura citada

- Anguelovski, I.; Shi, L.; Chu, E.; et al. (2016) Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: Critical perspective from the global North and South. *Journal of Planning Education and Research*, 36(2), 333-348. <https://doi.org/10.1177/0739456X16645166>
- Arnold, C.L.Jr.; Gibbons, C.J. (1996) Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62(2), 243-258. <https://doi.org/10.1080/01944369608975688>
- Bertrand-Krajewski, J.L. (2021) 'Integrated urban stormwater management: Evolution and multidisciplinary perspective'. *Journal of Hydro-environment Research*, 38, 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2020.11.003>
- Burgess, S.S.O; Adams, M.A; Turner, N.C; Ong, C.K. (1998) The redistribution of soil water by tree root systems. *Ecology*, 115, 306-311. <https://doi.org/10.1007/s004420050521>



- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020) *The state of food and agriculture 2020*. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- Levia, D.F., Carlyle-Moses, D.E. (2011) Rainfall interception loss by forests canopies. En D.F. Levia, D. Carlyle-Moses & T. Tanaka (Eds.), *Forest hydrology and biogeochemistry: Synthesis of Past research and future directions* (pp. 407–423). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1363-5_20
- Cohen-Shacham, E.; Andrade, A.; Dalton, et al. (2019) Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solution. *Environmental Science and Policy*, 98, 2029. <https://doi.org/10.1016/j.envisci.2019.04.014>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2018) *Plan de acción regional para la implementación de la Nueva Agenda Urbana en América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42144>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025) Lineamientos técnicos para sistemas de captación de agua de lluvia. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua. Available at: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/976468/Lineamientos_t_cnicos_SCALL_2025.pdf
- Doe, J. (s.f.) Maqueta de construcción [Fotografía]. Unsplash. <https://unsplash.com/es/fotos/maqueta-de-construcción-nXJyZLBnyUQ>
- De la Torre-Díaz, A.P. (2025) La cosecha de agua de lluvia crece en la comunidad Wixárika de México, El País, 15 March. Disponible en: <https://elpais.com/america-futura/2025-03-15/la-cosecha-de-agua-de-lluvia-crece-en-la-comunidad-wixarika-de-mexico.html>
- Escamilla, P.D. (2010) *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. CONAMA 10: Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, España. <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>
- Gleason-Espíndola, J.A. (2020) The importance of rainwater catchment systems. En J.A. Gleason-Espíndola, C.A. Casiano-Flores, R. Pacheco-Vega, M.R. Pacheco-Montes (Eds.), *International Rainwater Catchment Systems Experiences: Towards Water Security*. IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789060584_0003
- Medina, N.E.D.; Ibarra, A.M.M. (2024) Reducción del impacto de las inundaciones urbanas a través de las ciudades esponja, *Formación Estratégica*, 9(1), 12024. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/153/116>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Open AI. (2026) *Comparación entre un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) y el proceso natural que realizan los árboles para aprovechar el agua de lluvia*. [Imagen generada por inteligencia artificial]. DALL.E 3. https://openai.com/es-419/index/dall-e-3/?utm_source=chatgpt.com
- Open AI. (2026) *Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL) rural mayor aprovechamiento de recurso*. [Imagen generada por inteligencia artificial]. DALL.E 3. https://openai.com/es-419/index/dall-e-3/?utm_source=chatgpt.com
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016) *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana* (F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro, Y. Chen, Eds.; Estudio FAO: Montes N.º 178). FAO. <https://www.fao.org/3/i6210s/i6210s.pdf>
- Ortiz-Escoto, C.; Turrubiates-Contrera, M.I.; Violante-Gavira, A.E.; Aguilar-Ramírez, M. (2024) Mecanismos de adaptación al cambio climático. Análisis de técnicas de cosecha de agua de lluvia, *Jóvenes en la Ciencia*, 28. <https://doi.org/10.15174/jc.2024.4470>
- Pérez-Suárez, M.; Arredondo-Moreno, J.T.; Huber-Sannwald, E., Serna-Pérez, A. (2014) Forest structure, species traits and characteristics influences on horizontal and vertical rainfall partitioning in a semiarid pine-oak forest from Central Mexico. *Ecohydrology*, 7, 532–543. <https://doi.org/10.1002/eco.1372>
- Phillips, C.; Atchison, J. (2020) Seeing the trees for the (urban) forest: more-than-human geographies and urban greening. *Australian Geographer*, 51(2), 155–168. <https://doi.org/10.1080/00049182.2018.1505285>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023) Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnia en zonas rurales (PROCAPTAR). Disponible en:



<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rurales-procaptar>

Montiel-Rogel, A.P. (2024) El “tapete verde” al oriente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: El fenómeno urbano-rural del municipio de Texcoco. *Revista de El Colegio de San Luis*, 14(25), pp.1–36. Disponible en: <https://doi.org/10.21696/rcsl142520241624>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2019) *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving no one behind*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>





Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

De pulmones a guardianas del territorio: Las Áreas Naturales Protegidas como ejes de conectividad ecológica en el gradiente urbano-rural

From green lungs to guardians of territory: Protected Natural Areas as axes of ecological connectivity in the urban-rural gradient

Lizbeth Carrillo-Arizmendi ^{1,2} , Marlín Pérez-Suárez ² , Jorge E. Ramírez-Albores ^{3,*} , Juan Carlos Montoya-Jiménez ⁴ 

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera El Cerrillo-Piedras Blancas s/n, Toluca de Lerdo, 50200, Estado de México, México.

² Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera El Cerrillo-Piedras Blancas s/n, Toluca de Lerdo, 50200, Estado de México, México.

³ Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, 25315, Coahuila, México.

⁴ Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Carretera Federal Valle de Bravo Km. 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, 51200, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: jorgeramirez22@hotmail.com

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

30/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son territorios legalmente establecidos para conservar la biodiversidad, los procesos ecológicos y los valores culturales asociados a los ecosistemas. En México y a escala global, desempeñan un papel estratégico como refugios de especies, reguladores del clima local, protectores de fuentes de agua y espacios relevantes para la recreación, la educación ambiental y el bienestar humano. Su diversidad de categorías y esquemas de manejo responde a la heterogeneidad ecológica y social de los paisajes donde se insertan, así como a objetivos específicos de conservación. El objetivo del presente trabajo fue analizar las diferencias y complementariedades de las ANP a lo largo del gradiente urbano-rural, destacando el cómo, pese a enfrentar presiones específicas como la fragmentación, la expansión urbana o el cambio de uso del suelo, contribuyen de forma integrada a la conservación de la biodiversidad, la provisión de servicios ecosistémicos y la resiliencia territorial. En los entornos urbanos, actúan como infraestructura verde esencial al mitigar la contaminación atmosférica, regular la temperatura y ofrecer oportunidades de contacto directo con la naturaleza en contextos dominados por infraestructura gris, con beneficios inmediatos para la salud física y emocional de la población. En las zonas periurbanas y rurales, las ANP sostienen procesos ecológicos de mayor escala, como la conectividad de corredores biológicos, la conservación de especies endémicas y la provisión de servicios ecosistémicos que respaldan la vida comunitaria y las actividades productivas. Aunque su uso recreativo cotidiano suele ser más limitado, su importancia radica en su función como reservas estratégicas de largo plazo.



Palabras claves: biodiversidad, conectividad ecológica, conservación, servicios ecosistémicos, socioecosistemas.

ABSTRACT

Protected Natural Areas (PNAs) are legally established territories designated to conserve biodiversity, ecological processes, and the cultural values associated with ecosystems. In Mexico and globally, they play a strategic role as species refuges, regulators of local climate, protectors of water sources, and key spaces for recreation, environmental education, and human well-being. Their diverse categories and management schemes reflects the ecological and social heterogeneity of the landscapes in which they embedded, as well as specific conservation objectives. The aim of this study was to analyze the differences and complementarities of PNAs along the urban-rural gradient, highlighting how, despite facing specific pressures such as fragmentation, urban expansion, and land-use change, they contribute in an integrated manner to biodiversity conservation, the provision of ecosystem services, and territorial resilience. In urban environments, PNAs function as essential green infrastructure by mitigating air pollution, regulating temperature, and providing opportunities for direct contact with nature in contexts dominated by gray infrastructure, with immediate benefits for the physical and emotional health of the population. In peri-urban and rural areas, PNAs sustain larger-scale ecological processes, such as biological corridor connectivity, the conservation of endemic species, and the provision of ecosystem services that support community life and productive activities. Although their everyday recreational use is often more limited, their importance lies in their role as long-term strategic reserves.

Keywords: biodiversity, conservation, ecological connectivity, ecosystemic services, socialecosystems.

INTRODUCCIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) constituyen uno de los instrumentos más relevantes de la política ambiental contemporánea para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Se trata de territorios legalmente delimitados y sujetos a distintos regímenes de manejo, cuyo objetivo principal es preservar ecosistemas representativos, especies silvestres y procesos ecológicos esenciales, al tiempo que se promueve un uso sustentable de los recursos naturales compatible con la conservación (Dudley, 2008). En un contexto global marcado por la urbanización acelerada, la fragmentación del paisaje y el cambio climático, las ANP adquieren un papel estratégico no solo como reservorios de biodiversidad, sino como componentes clave de los socioecosistemas.

En México, el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas abarca más de 90 millones de hectáreas, lo que representa aproximadamente el 18 % del territorio nacional, incluyendo superficies terrestres y marinas (CONANP, 2024). A esta red se suman las ANP estatales

y municipales, creadas bajo marcos normativos locales, que amplían la cobertura de conservación y permiten responder a problemáticas ambientales específicas a escala regional y urbana. Más allá de su papel administrativo, las ANP deben entenderse como elementos dinámicos insertos en paisajes heterogéneos. Su funcionalidad ecológica y social depende en gran medida de su posición dentro del gradiente urbano-rural, un continuo espacial que va desde los núcleos urbanos densamente construidos, pasando por zonas periurbanas en rápida transformación, hasta territorios rurales con menor densidad poblacional y mayor cobertura de ecosistemas naturales (McDonnell y Pickett, 1990). En este gradiente, las ANP no operan como entidades aisladas, sino como nodos interconectados cuya eficacia depende de la conectividad ecológica y de la interacción con los sistemas humanos circundantes.

La conectividad ecológica se refiere a la capacidad del paisaje para facilitar el movimiento de organismos, el flujo genético, la dispersión de semillas y la continuidad de procesos ecológicos como la polinización, la regulación hidrológica y el control biológico (Taylor, 2000;



Bierwagen, 2005). Cuando las ANP mantienen vínculos funcionales entre sí y con otros elementos del paisaje — como corredores biológicos, áreas verdes urbanas o matrices agrícolas de bajo impacto— su contribución a la conservación se multiplica. Por el contrario, cuando quedan aisladas por la urbanización o la infraestructura, su capacidad para sostener la biodiversidad disminuye de forma significativa (Haddad et al., 2015).

En América Latina, una de las regiones más biodiversas del planeta y, al mismo tiempo, una de las más urbanizadas, el papel de las ANP en el gradiente urbano-rural resulta particularmente crítico. La Ciudad de México, la de São Paulo, Bogotá, Santiago de Chile y Medellín, son ciudades que se han expandido sobre territorios que antes funcionaban como zonas de amortiguamiento o conectividad ecológica, incrementando la presión sobre áreas protegidas cercanas (Seto et al., 2012). En este escenario, las ANP enfrentan retos diferenciados, pero complementarios, que exigen estrategias de manejo integradas y adaptadas al contexto territorial.

El objetivo de este trabajo es analizar el papel de las ANP a lo largo del gradiente urbano-rural, destacando su contribución a la conservación de la biodiversidad y a la provisión de servicios ecosistémicos, así como las presiones específicas que enfrentan en cada contexto. A través de ejemplos en América Latina, se busca evidenciar que las ANP no son espacios estáticos ni aislados, sino componentes interdependientes de una red socioecológica cuya funcionalidad resulta clave para la resiliencia territorial frente al cambio climático y la urbanización.

LAS ANP EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL: UNA VISIÓN INTEGRADA

El gradiente urbano-rural ofrece un marco conceptual útil para comprender cómo varían la estructura del paisaje, los procesos ecológicos y las interacciones sociales en función del grado de urbanización (Forman, 2014). En este continuo, las ANP desempeñan funciones diferenciadas que responden tanto a las condiciones biofísicas como a las dinámicas socioeconómicas de su entorno (Figura 1, Tabla 1).

En los núcleos urbanos, las ANP suelen estar inmersas en matrices altamente artificializadas, lo que limita su tamaño y conectividad, pero incrementa su valor social y ambiental inmediato. En las zonas periurbanas, estas

áreas funcionan como amortiguadores y espacios de transición, donde se concentra gran parte de los conflictos entre conservación y desarrollo (Figura 1, Tabla 1). En los territorios rurales, las ANP suelen alcanzar mayores extensiones y mantienen procesos ecológicos de gran escala, aunque enfrentan presiones derivadas de la intensificación productiva y el cambio de uso del suelo (Tabla 2).



Figura 1. Gradiente de un ANP en la ciudad hacia la periferia. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (Open AI, 2026a).

Tabla 1. Funciones ecológicas de las ANP según su ubicación en el gradiente urbano-rural.

Función ecológica	ANP urbanas	ANP periurbanas	ANP rurales
Regulación climática	Alta, localizada (microclimas)	Alta, regional (valles y cuencas)	Moderada pero amplia
Calidad del aire	Alta	Moderada	Baja (poca contaminación)
Conectividad ecológica	Baja a media (corredores diseñados)	Alta (corredores naturales y seminaturales)	Muy alta (paisajes continuos)
Recarga hídrica	Baja	Alta	Muy alta
Biodiversidad	Baja a media	Moderada a alta	Alta
Capacidad de restauración	Limitada por espacio	Moderada	Alta
Presión humana	Muy alta	Media	Baja a media

Reconocer estas diferencias no implica fragmentar la visión de la conservación, sino entender que la efectividad de las ANP depende de su articulación a lo largo del gradiente. Desde esta perspectiva, la

conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos requiere estrategias multidisciplinares que integren políticas urbanas, ordenamiento territorial y manejo comunitario de los recursos naturales.

ANP URBANAS: INFRAESTRUCTURA VERDE PARA LA RESILIENCIA DE LAS CIUDADES

En las ciudades, las ANP desempeñan una función esencial como infraestructura verde. Su presencia contribuye a mitigar los efectos negativos de la urbanización, como la contaminación atmosférica y acústica, la pérdida de biodiversidad y el fenómeno de la isla de calor urbana (Tabla 2). Se ha documentado que las áreas verdes urbanas pueden reducir las temperaturas locales entre 2 y 6 °C, disminuir la concentración de contaminantes y mejorar la salud física y mental de la población (Bowler et al., 2010; Gray et al., 2016).

Tabla 2. Amenazas principales sobre ANP urbanas y efectos asociados.

Amenaza	Efecto ecológico	Efecto social	Intensidad típica
Fragmentación	Pérdida de conectividad, disminución de la biodiversidad	Menor calidad ambiental	Muy alta
Contaminación	Daño a la biodiversidad, eutrofización	Riesgos a la salud	Alta
Cambio climático	Incendios, estrés hídrico	Vulnerabilidad urbana	Alta
Especies invasoras	Desplazamiento de la biodiversidad nativa	Pérdida de la identidad paisajística	Media a alta
Sobreuso recreativo	Compactación del suelo, erosión	Reducción del valor estético	Media

Las ANP urbanas también desempeñan un papel clave en la regulación hidrológica, al favorecer la infiltración del agua de lluvia, reducir el escurrimiento superficial y disminuir el riesgo de inundaciones. En ciudades latinoamericanas caracterizadas por una expansión desordenada y una alta vulnerabilidad climática, estos servicios resultan particularmente relevantes (Gómez-Baggethun y Barton, 2013).

En México, ejemplos emblemáticos de ANP urbanas (Figura 2) incluyen el Bosque de Chapultepec, en la Ciudad de México, considerado uno de los parques urbanos más grandes y antiguos de América Latina, con una superficie superior a 800 hectáreas. Además de albergar una notable diversidad de flora y fauna, este espacio cumple funciones recreativas, culturales y

educativas fundamentales para millones de habitantes. Otro caso relevante es el Parque Ecológico de Xochimilco, que protege remanentes de humedales urbanos y chinampas, ecosistemas clave para la regulación hídrica y la conservación de aves acuáticas migratorias.

En otras regiones, el Parque Natural Metropolitano de Panamá o el Parque Estadual da Cantareira en São Paulo ilustran cómo las ANP urbanas pueden contribuir a la seguridad hídrica y a la conservación de la biodiversidad en megaciudades. En el caso de Cantareira, esta área protegida abastece de agua potable a millones de personas y alberga una de las mayores extensiones de Mata Atlántica remanente en un entorno urbano (Ferraz et al., 2014).

No obstante, las ANP urbanas enfrentan presiones significativas, como la fragmentación del hábitat, la introducción de especies exóticas, la sobrecarga de visitantes y los conflictos de uso del suelo. Su manejo requiere estrategias específicas que integren la planificación urbana, la educación ambiental y la participación ciudadana, reconociendo que su valor va más allá de la conservación biológica y se extiende al bienestar social y la cohesión comunitaria.

ANP PERIURBANAS: TERRITORIOS DE TRANSICIÓN Y CONFLICTO

Las zonas periurbanas representan uno de los espacios más dinámicos y complejos del gradiente urbano-rural. En ellas convergen procesos de expansión urbana, desarrollo de infraestructura, actividades productivas y remanentes de ecosistemas naturales. Las ANP ubicadas en estos territorios cumplen una función crítica como áreas de amortiguamiento y conectividad ecológica, pero también son las más vulnerables a la fragmentación y al cambio de uso del suelo (Aguilar et al., 2022).

Diversos estudios han demostrado que las ANP periurbanas desempeñan un papel clave en la conservación de la biodiversidad, al funcionar como refugios para especies desplazadas por la urbanización y como corredores que facilitan el movimiento de fauna entre áreas naturales (Hernández-Romero et al., 2024). En la periferia de la Ciudad de México, por ejemplo, la conservación de bosques y áreas verdes en el suelo de conservación ha resultado fundamental para mantener la conectividad de mamíferos medianos y grandes, así como para la regulación climática y la recarga de acuíferos.



Sin embargo, estas áreas también concentran conflictos socioambientales derivados de la presión inmobiliaria, la expansión de carreteras y la ocupación irregular del suelo. La pérdida de conectividad en los bordes de las ANP puede comprometer su capacidad para sostener poblaciones viables de especies y reducir la provisión de servicios ecosistémicos (Geldmann et al., 2019).

Ejemplos de ANP periurbanas en México incluyen el Parque Nacional Cumbres del Ajusco y el Parque Nacional Desierto de los Leones (Figura 2), ambos rodeados por asentamientos humanos y sometidos a una presión constante. A pesar de ello, estas áreas funcionan como barreras naturales frente a la urbanización descontrolada y como fuentes de servicios ecosistémicos esenciales para las ciudades cercanas.

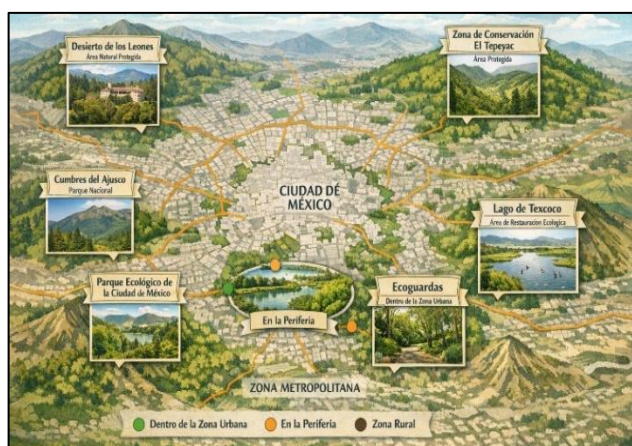


Figura 2. Ubicación de algunas ANP en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México considerando el gradiente urbano-rural. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (Open AI, 2026b).

En América Latina, el Parque Nacional Chingaza, que abastece de agua a Bogotá, o el Parque Natural Metropolitano de Caracas, ilustran la importancia estratégica de las ANP periurbanas para la seguridad hídrica y la calidad de vida urbana. Su manejo exitoso depende en gran medida de la coordinación interinstitucional y de la participación de las comunidades locales, cuya capacidad adaptativa resulta clave para sostener la funcionalidad ecológica del territorio (Reyes-García et al., 2020).

ANP RURALES: GUARDIANAS DE LA BIODIVERSIDAD Y LA MEMORIA BIOCULTURAL

En los territorios rurales, las ANP suelen alcanzar mayores extensiones y albergar ecosistemas relativamente continuos, lo que les permite sostener procesos ecológicos de gran escala, como la migración de especies, la dispersión de semillas y la regulación climática regional. Estas áreas constituyen el núcleo de la conservación de la biodiversidad y desempeñan un papel fundamental en la provisión de servicios ecosistémicos que benefician tanto a las comunidades locales como a las ciudades (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

En México, por ejemplo, algunas categorías de ANP (como las Áreas de Protección de Flora y Fauna y las Áreas de Protección de Recursos Naturales) permiten, bajo la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la realización de actividades productivas sustentables en sus zonas de amortiguamiento, siempre que no comprometan la integridad de los ecosistemas (CONANP, 2024). Este enfoque reconoce la interdependencia entre conservación y desarrollo rural, y abre la puerta a esquemas de manejo comunitario y aprovechamiento sustentable.

Ejemplos destacados incluyen la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, que protege los bosques de oyamel donde millones de mariposas hibernan cada invierno; la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, en Quintana Roo, con una extraordinaria diversidad de humedales, selvas y arrecifes; y el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, clave para la recarga hídrica del centro del país. A nivel latinoamericano, áreas como la Reserva de la Biosfera Maya en Guatemala, el Parque Nacional Manu en Perú o el Parque Nacional Yasuní en Ecuador destacan por su importancia para la conservación de la biodiversidad global y de la diversidad cultural. Estas ANP también enfrentan amenazas crecientes asociadas a la intensificación agrícola, la deforestación, los incendios forestales y la extracción ilegal de recursos, lo que subraya la necesidad de fortalecer los mecanismos de gobernanza y participación comunitaria (Balvanera et al., 2012; Baldi et al., 2017).

CONCLUSIONES

Las Áreas Naturales Protegidas se configuran como elementos esenciales del territorio a lo largo del gradiente urbano-rural, al sostener simultáneamente la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano. En las ciudades, funcionan como infraestructura verde que mejora la salud y la calidad de vida; en las zonas periurbanas, actúan como nodos

estratégicos para la conectividad ecológica y la contención de la expansión urbana; y en los territorios rurales, aseguran la continuidad de procesos ecológicos de gran escala y la preservación del patrimonio biocultural.

A pesar de enfrentar presiones diferenciadas — fragmentación, expansión inmobiliaria e intensificación productiva—, todas las ANP comparten la necesidad de una gobernanza integrada y colaborativa que reconozca su interdependencia funcional. Comprenderlas como una red de “puentes vivos” permite avanzar hacia estrategias de conservación más efectivas, capaces de responder a los desafíos del cambio climático y de garantizar que lo urbano y lo rural permanezcan conectados en un mismo tejido socio-ecológico.

Agradecimientos

JER-A agradece a los Fondos Institucionales de Investigación para el proyecto 38111- 425104001-2178 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Literatura citada

- Aguilar, A.G.; Flores, M.A.; Lara, L.F. (2022) Peri-urbanization and land use fragmentation in Mexico City. Informality, environmental deterioration, and ineffective urban policy. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 790474. <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.790474>
- Baldi, G.; Texeira, M.; Martin, O.A.; et al. (2017) Opportunities drive the global distribution of protected areas. *Peer Journal*, 5, e2989. <https://doi.org/10.7717/peerj.2989>
- Balvanera, P.; Uriarte, M.; Almeida-Leñero, L.; et al. (2012) Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Services*, 2, 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.09.006>
- Bierwagen, B.G. (2005) Predicting ecological connectivity in urbanizing landscapes. *Environmental and Planning B: Planning and Design*, 32, 763-776. <https://doi.org/10.1068/b31134>
- Bowler, D.E.; Buyung-Ali, L.; Knight, T.M.; Pullin, A.S. (2010) Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>

CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2024) *Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020-2024*. CONANP. Disponible en https://www.conanp.gob.mx/datos_abiertos/DES/P_NANP2020-2024.pdf

Dudley, N. (2008) *Guidelines for applying protected area management categories*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.en>

Ferraz, S.F.B.; Ferraz, K.M.P.M.B.; Cassiano, C.C.; et al. (2014) How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? *Landscape Ecology*, 29(2), 187-200. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-9988-z>

Forman, R.T.T. (2014) *Urban ecology: Science of cities*. Cambridge University Press.

Geldmann, J.; Manica, A.; Burgess, N.D.; Coad, L.; Balmford, A. (2019) A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(46), 23209-23215. <https://doi.org/10.1073/pnas.1908221116>

Gómez-Baggethun, E.; Barton, D.N. (2013) Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>

Gray, C.L.; Hill, S.L.L.; Newbold, T.; et al. (2016). Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nature Communications*, 7, 12306. <https://doi.org/10.1038/ncomms12306>

Haddad, N.M.; Brudvig, L.A.; Clobert, J.; et al. (2015) Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>

Hernández-Romero, P.C.; Von Thaden-Ugalde, J.J.; Muench, C.E.; et al. (2024) Species richness and ecological connectivity of the mammal communities in urban and peri-urban areas at Mexico City. *Urban Ecosystems*, 27, 1781-1794. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01553-x>

McDonnell, M.J.; Pickett, S.T.A. (1990). Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: An unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71(4), 1232-1237. <https://doi.org/10.2307/1938259>

Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.



Open AI (2026a) *Gradiente de un ANP en la ciudad hacia la periferia* [imagen generada con inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>

Open AI (2026b) *Ubicación de algunas ANP en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México considerando el gradiente urbano-rural* [imagen generada con inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>

Reyes-García, V.; Fernández-Llamazares, Á.; McElwee, P.; et al. (2020) The contributions of Indigenous Peoples and local communities to ecological restoration. *Restoration Ecology*, 28(1), 3–8. <https://doi.org/10.1111/rec.12894>

Seto, K.C.; Güneralp, B.; Hutyrá, L.R. (2012) Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>

Taylor, P.D. (2000) Landscape Connectivity. In: Ekbohm, B.; Irwin, M.E.; Robert, Y. (Eds.), *Interchanges of insects between agricultural and Surrounding Landscapes*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1913-1_7

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

Fauna silvestre en el gradiente urbano–rural: una mirada socioecológica a la coexistencia entre naturaleza y ciudad

Wildlife in the urban–rural gradient: a socio-ecological look at the coexistence between nature and city

Jorge E. Ramírez-Albores ^{1,*} , Alina Gabriela Monroy-Gamboa ² , José F. González-Maya ³ ,
Romeo A. Saldaña-Vázquez ^{4,5} , Heliot Zarza ³ 

¹ Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, 25315, Coahuila, México.

² Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Km. 1 carr. a San Juan de la Costa El Comitán, La Paz, 23205, Baja California Sur, México.

³ Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma, Av. De las Garzas 10, Col. El Panteón, Lerma de Villada, 52005, Estado de México, México.

⁴ Instituto de Investigaciones en Medio Ambiente Xabier Gorostiaga, Universidad Iberoamericana. Boulevard del Niño Poblano 2901, Col. Reserva Territorial Atlixcáyotl, San Andrés Cholula, 72820, Puebla, México.

⁵ El Colegio de Puebla A.C, Avenida 41 Poniente 505, Col. Gabriel Pastor 1ra. Sección, Puebla, 72420, Puebla, México.

* Autor para correspondencia: jorgeramirez22@hotmail.com

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

30/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

La urbanización acelerada ha modificado de forma sustancial la relación entre las sociedades humanas y la fauna silvestre, generando transformaciones profundas en la configuración del paisaje y en los procesos ecológicos que lo sustentan. En este escenario, la distinción tradicional entre espacios urbanos y naturales resulta limitada contemporáneamente. Este artículo analiza el papel de la fauna silvestre a lo largo del gradiente urbano–rural desde una perspectiva socio-ecológica, donde se examinan las interacciones entre fauna, sociedad y territorio, así como sus implicaciones para la conservación, la planificación urbana y la convivencia humano-fauna. A lo largo de este gradiente se observan cambios progresivos en la estructura del hábitat, la disponibilidad de recursos y la conectividad ecológica. El análisis de la fauna silvestre a lo largo del gradiente urbano–rural desde una perspectiva socio-ecológica permite comprender cómo las interacciones entre sociedad, territorio y biodiversidad se manifiestan en contextos concretos. Este enfoque resulta especialmente relevante en regiones donde grandes ciudades coexisten estrechamente con ecosistemas de alto valor ecológico. Integrar esta visión en la planificación urbana y en las políticas públicas es fundamental para fortalecer la conservación, reducir conflictos humano-fauna y promover modelos de desarrollo urbano más resilientes y ambientalmente sostenibles.

Palabras clave: biodiversidad, conectividad ecológica, conflicto humano-fauna, conservación, servicios ecosistémicos, urbanización.



ABSTRACT

Rapid urbanization has substantially altered the relationship between human societies and wildlife, generating profound transformations in landscape configuration and the ecological processes that sustain it. In this scenario, the traditional distinction between urban and natural spaces is now limited. This article analyzes the role of wildlife along the urban–rural gradient from a socio-ecological perspective, examining the interactions between wildlife, society, and territory, as well as their implications for conservation, urban planning, and human-wildlife coexistence. Along this gradient, progressive changes are observed in habitat structure, resource availability, and ecological connectivity. Analyzing wildlife along the urban–rural gradient from a socio-ecological perspective allows us to understand how the interactions between society, territory, and biodiversity manifest themselves in specific contexts. This approach is particularly relevant in regions where large cities coexist closely with ecosystems of high ecological value. Integrating this vision into urban planning and public policies is fundamental to strengthening conservation, reducing human-wildlife conflicts, and promoting more resilient and environmentally sustainable urban development models.

Keywords: biodiversity, conservation, ecological connectivity, ecosystem services, human-wildlife conflict, urbanization.

INTRODUCCIÓN

La relación entre las sociedades humanas y la fauna silvestre ha experimentado transformaciones profundas en las últimas décadas. El crecimiento acelerado de las ciudades, la expansión de la infraestructura y la intensificación de las actividades antropogénicas ha modificado de manera sustancial los paisajes donde históricamente se desarrollaban procesos ecológicos complejos y dinámicos (Liu et al., 2025). En este contexto, concebir una separación estricta entre espacios “naturales” y “urbanos” resulta cada vez menos discreta y evidente, y desde una perspectiva moderna, la idea de que la naturaleza termina donde empieza el cemento es un mito que debemos romper. Más que categorías excluyentes, estos espacios conforman un gradiente socio-ecológico que permite identificar, comparar y analizar dinámicas ecológicas de diversa magnitud en función de las interacciones entre componentes biofísicos y sociales, ofreciendo así un marco más realista y operativo para comprender la realidad contemporánea. Hoy, numerosas especies silvestres habitan en gradientes de urbanización, desde zonas densamente urbanizadas hasta zonas predominantemente rurales o naturales, utilizando infraestructura urbana para realizar sus actividades cotidianas, y ajustando su comportamiento a los ritmos ciudadanos y dependiendo, en distintos grados, de recursos asociados a estos nuevos y cambiantes

ambientes artificiales (Tabla 1; Niesner et al., 2021; Xavier et al., 2024).

Millones de personas interactúan a diario con la fauna silvestre que habita ambientes urbanos, ya sea de manera cercana al interactuar con ellos en parques, jardines y zonas periurbanas (Figura 1A), o a través de manera indirecta a partir del arte y otras expresiones culturales (Figuras 1B-C), las cuales se vinculan con la naturaleza (Soulsburry y White, 2015). Estas interacciones no son anecdóticas: influyen en la percepción, apreciación, apropiación y conservación de las especies silvestres, en la funcionalidad de los ecosistemas y en la calidad de vida urbana. Comprenderlas exige profundizar en las percepciones y valoración de la naturaleza por los habitantes del gradiente urbano–rural.

En lugar de fronteras rígidas entre ciudad y campo, lo que existe en la práctica es un gradiente urbano–rural, entendido como una transición continua de condiciones ambientales, sociales y ecológicas (Liu et al., 2025). A lo largo de este gradiente, la fauna enfrenta presiones variables en diferentes grados —pérdida de hábitat, contaminación, cacería— pero también oportunidades asociadas a nuevos recursos, refugios, nichos ecológicos y estructuras para su movilidad (Lemos et al., 2025; Liu et al., 2025). Las respuestas de las especies a los cambios ambientales no son estáticas ni uniformes, sino que



dependen de sus rasgos funcionales, historias evolutivas y del contexto social en el que se insertan.



Figura 1. Percepción de las personas sobre la fauna silvestre en las zonas urbanas (A, interacción directa; B-C, interacción indirecta). Fotos: A, Luis Hernández; B, JER-A; C, RAS-V.

Para entender las respuestas ecológicas de las especies al gradiente urbano–rural, este enfoque resulta especialmente pertinente para México, Centro y Sudamérica, regiones clasificadas entre las más biodiversas del planeta y, al mismo tiempo, de las más urbanizadas. Esta región alberga grandes ciudades como Ciudad de México (México), Bogotá (Colombia), São Paulo (Brasil) y Santiago (Chile) las cuales se desarrollan en estrecha proximidad con remanentes naturales de alto valor ecológico, zonas periurbanas agrícolas y paisajes rurales y naturales fragmentados. En estos territorios híbridos, la fauna no desaparece de manera inmediata, se redistribuye, se adapta o se ve desplazada de manera progresiva.

Tabla 1. Estrategias de persistencia de la fauna silvestre en paisajes urbanizados.

Estrategia	Descripción	Ejemplo
Plasticidad dietaria	Uso de recursos antrópicos	Tlacuaches y cacomixtles
Cambio de horarios	Actividad nocturna	Zorros periurbanos
Uso de infraestructura para resguardo y descanso	Refugio en edificios o infraestructura abandonada	Murciélagos, roedores y aves
Uso de infraestructura para movilidad	Cableado eléctrico o de comunicación	Ardillas
Dispersión asistida	Corredores urbanos	Aves frugívoras, mariposas

El presente artículo examina el papel de la fauna silvestre a lo largo del gradiente urbano–rural desde una perspectiva socio-ecológica, poniendo énfasis en México, Centro y Sudamérica. Más que desarrollar un marco teórico abstracto, se busca mostrar cómo las dinámicas entre fauna, sociedad y territorio se manifiestan en casos concretos, y qué implicaciones tienen para la conservación, la planificación urbana y la coexistencia entre humanos y vida silvestre.

EL GRADIENTE URBANO—RURAL COMO HERRAMIENTA PARA ENTENDER TERRITORIOS HÍBRIDOS

El concepto de gradiente urbano–rural surge como una alternativa a las clasificaciones binarias entre ciudad, campo y ecosistemas naturales (Liu et al., 2025). Desde las disciplinas de la Ecología del Paisaje y la Geografía Urbana, este enfoque propone analizar al territorio como un continuo en el que se combinan diferentes intensidades de urbanización, usos de suelo, coberturas vegetales y densidades humanas. En lugar de delimitar categorías rígidas, el gradiente permite reconocer zonas intermedias o de transición con características mixtas, como áreas periurbanas, corredores verdes, barrancas, riberas y mosaicos agrícolas.

El gradiente urbano-rural, además aporta una multifuncionalidad ecosistémica, desde donde se pueden identificar patrones en la distribución de especies, la disponibilidad de recursos y la conectividad del hábitat. Desde la dimensión social, permite comprender cómo las decisiones de la sociedad afectan la ecología de la fauna silvestre. Las decisiones del sistema social pueden incluir cambios en la infraestructura necesaria para las personas, las percepciones de estas sobre la fauna, las políticas públicas de conservación de la fauna silvestre en las ciudades que moderan la interacción humano-animal a medida que se transita del centro urbano hacia zonas rurales y naturales.

Aplicado al estudio de la fauna, el gradiente urbano–rural ofrece tres aportes clave. Primero, captura la heterogeneidad real de las ciudades, debido a que no son espacios homogéneos, sino mosaicos heterogéneos de parques, jardines, humedales, complejos habitacionales, áreas industriales, caminos, remanentes naturales y áreas agrícolas o ganaderas. Segundo, permite analizar la

respuesta de las especies a múltiples presiones simultáneas —aislamiento, cacería, tráfico vehicular, mascotas, fauna exótica e introducida, contaminación atmosférica, hídrica y lumínica— que varían gradualmente en intensidad. Tercero, integra factores sociales, como la tolerancia humana, las prácticas de manejo de vida silvestre, los valores culturales asociados a la naturaleza y percepciones, que influyen directamente en la supervivencia de las especies.

TRANSFORMACIONES DEL HÁBITAT Y PATRONES ECOLÓGICOS A LO LARGO DEL GRADIENTE URBANO–RURAL

A medida que se avanza desde los núcleos urbanos densos hacia las periferias rurales, se observan cambios progresivos en la estructura y composición del paisaje, cambios que repercuten en la calidad del hábitat para la fauna (Figura 2). En los centros urbanos las sociedades han privilegiado las superficies impermeables, edificios de gran altura sin adaptaciones para brindar hábitat y prevenir accidentes con la fauna silvestre, adicionalmente existe vegetación exótica ornamental dispersa, cuya interacción con la fauna silvestre la mayoría de las veces es negativa. Por lo anterior, la disponibilidad de refugio y alimento para la fauna silvestre en las ciudades es limitada para especies especialistas de hábitat y alimentación, mientras que las especies generalistas pueden aprovechar dichos recursos y por ejemplo utilizar cavidades en edificaciones, drenajes, tendido de cableado, camellones, árboles aislados remanentes de humedales o lagos artificiales y residuos alimenticios para sobrevivir en las ciudades (Figura 3). La intensidad de uso por algunas especies, de forma siempre diferencial, depende del contexto espacial de cada centro urbano, las zonas urbanas son usadas de manera más intensa o frecuente por especies silvestres mientras estas zonas se encuentran más próximas a fuentes de hábitats naturales y corredores o conectores que faciliten su movilidad (Hansen et al., 2019).

En zonas periurbanas, la estructura y composición del paisaje suele ser más diversos. El motivo es que en esas zonas las políticas de desarrollo urbano son menos intensas, debido a que la inversión económica para infraestructura urbana es menor. El resultado es la presencia de parches de vegetación nativa, cuerpos de agua, terrenos agrícolas o ganaderos y corredores lineales

como vegetación ribereña. Estos espacios funcionan como áreas de transición donde pueden coexistir especies tolerantes o explotadoras urbanas con fauna más evasora de la urbanización. En las zonas rurales existe un menor impacto ambiental, debido a que la población es menos densa y las actividades productivas son principalmente la agricultura y ganadería, lo que resulta en ecosistemas de mayor calidad para la fauna silvestre debido a que mantienen mayor continuidad espacial y complejidad estructural.

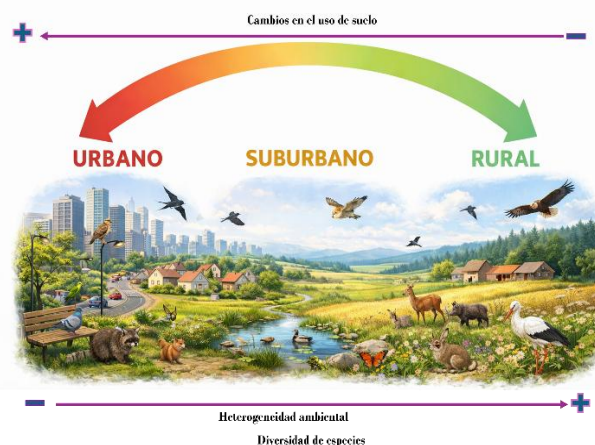


Figura 2. Variación de la biodiversidad faunística con respecto a la heterogeneidad ambiental en el gradiente urbano–rural. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (Open AI, 2026).

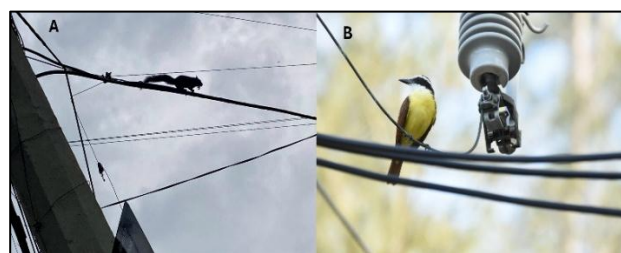


Figura 3. Uso de la infraestructura urbana por parte de la fauna silvestre para sobrevivir: ardilla gris desplazándose en el tendido eléctrico (A) y bienteveo común perchando en cables de luz (B). Fotos: RAS-V.

Diversos estudios han documentado que la riqueza de especies nativas tiende a aumentar desde el centro urbano hacia las periferias y hacia los ecosistemas naturales, aunque no de manera lineal. En muchos casos, las áreas periurbanas presentan una diversidad particularmente alta, debido a la combinación de especies nativas y generalistas tolerantes a la actividad

humana. Este patrón ha sido observado, por ejemplo, en comunidades de aves, anfibios y murciélagos en diferentes ciudades de América Latina (Ávila-Flores y Fenton, 2005; Demartín et al., 2024; San Martín-Cruz et al., 2024; Ramírez-Albores et al., 2024), donde los bordes urbanos y las áreas agrícolas con vegetación remanente albergan mayor diversidad taxonómica y funcional que los parques urbanos aislados.

La conectividad ecológica es otro factor clave. En ciudades densas, la fragmentación limita los movimientos de la fauna y puede aislar poblaciones. Sin embargo, incluso pequeños elementos del paisaje — camellones arbolados, riberas urbanas, parques urbanos, jardines comunitarios— pueden funcionar como conectores entre hábitats (Zellmer y Goto, 2022). En el tramo periurbano, la conectividad depende en gran medida de la planificación territorial y de la conservación y manejo adecuado de parches remanentes.

FAUNA SILVESTRE EN PAISAJES

URBANOS Y PERIURBANOS:

ESTRATEGIA DE PERSISTENCIA

La presencia de fauna en entornos urbanizados no es aleatoria. Las especies que persisten a lo largo del gradiente urbano–rural suelen compartir ciertos rasgos funcionales, como dietas amplias, alta movilidad y flexibilidad conductual (Tabla 1). Aves migratorias, acuáticas y granívoras, murciélagos insectívoros y frugívoros de alta masa corporal, tlacuaches, roedores, algunos carnívoros y reptiles generalistas son ejemplos de especies que han logrado adaptarse a contextos urbanos.

En la Ciudad de México, por ejemplo, el tlacuache (*Didelphis virginiana*) se ha convertido en un componente habitual del paisaje urbano, utilizando jardines, azoteas y drenajes como refugio, o cruzando por el cableado eléctrico para moverse. Se ha documentado que su dieta incluye tanto frutos nativos como residuos alimenticios, lo que le permite persistir en ambientes altamente modificados (Hortelano-Moncada et al., 2025). Es también el caso para su congénere andina, la zarigüeya andina (*Didelphis pernigra*; Figura 4), que también es comúnmente registrada en zonas urbanizadas cercanas al borde urbano en Bogotá (en Colombia; Barrera-Nino y Sánchez, 2014; Jiménez-Alvarado et al., 2017). De manera similar, especies de

murciélagos frugívoros e insectívoros utilizan parques urbanos y cuerpos de aguas artificiales para alimentarse, contribuyendo al control de insectos nocturnos (Scholz et al., 2025). Así como también algunos humedales remanentes inmersos en la Ciudad de México como lo es la ciénega de Tláhuac resguardan una gran cantidad de aves migratorias acuáticas en su ruta migratoria hacia el sur, sirviendo estos espacios como un lugar para descansar y alimentarse antes de continuar su ruta (Monroy-Gamboa et al., 2021).



Figura 4. Zarigüeya Andina (*Didelphis pernigra*) registrada en una zona periurbana en la ciudad de Bogotá, Colombia. Foto: JFG-M.

En contraste, especies con requerimientos más especializados en dieta, hábitat o tamaño del hábitat, como los anfibios que son dependientes de cuerpos de agua limpios, o algunos mamíferos tienden a desaparecer de las zonas urbanas, concentrándose en zonas periurbanas o rurales (Baláz et al., 2026; Demartín et al., 2024). En el Valle de Aburrá, área urbana de la ciudad de Medellín en Colombia, y en zonas periurbanas contiguas a Bogotá, monitoreos con cámaras trampa han registrado la actividad nocturna de zorros, tigrillos, coatíes, zorrillos y armadillos en áreas periurbanas, particularmente en zonas con menor presencia humana durante la noche (Jiménez-Alvarado et al., 2017; Barrera-Vargas et al., 2023). Un meta-análisis sobre la diversidad funcional de murciélagos en ciudades tropicales demostró que las especies de menor tamaño son menos dominantes en los ensamblajes de murciélagos que viven en la ciudad (Saldaña-Vázquez y Schondube, 2016). Esto demuestra que hay un filtrado de especies de murciélagos en las ciudades. Estos registros evidencian la importancia de los bordes urbanos como refugios temporales y rutas de movimiento, pero además como reservorios y fuentes de biodiversidad en entornos urbanos, que probablemente también contribuyen al mantenimiento de servicios ecosistémicos claves para el metabolismo de dichas ciudades.

FUNCIONALIDAD ECOLÓGICA DE LA FAUNA EN ENTORNOS URBANIZADOS

La relevancia de la fauna silvestre en paisajes urbanos no se limita a su valor estético o simbólico. Los animales desempeñan papeles ecológicos que contribuyen al funcionamiento y la resiliencia de los ecosistemas urbanos y periurbanos, y por ende también determinan la capacidad de dichos ecosistemas de proveer, en calidad y cantidad, los servicios ecosistémicos que determinan nuestra calidad de vida y el metabolismo mismo de las ciudades (Morales-Vásquez et al., 2018) (Tabla 2). A lo largo del gradiente urbano–rural, estas funciones pueden verse alteradas, pero no necesariamente eliminadas.

Potencialmente, las funciones involucradas en estos gradientes son incontables y conocemos poco sobre la magnitud de estas; sin embargo, algunas han sido bien documentadas y pueden ser incluso las más evidentes. Por ejemplo, la dispersión de semillas es uno de los procesos más evidentes, aves frugívoras y mamíferos facilitan la regeneración vegetal en parques, jardines y áreas degradadas, incluso dentro de ciudades densas. En Santiago de Chile, se ha documentado que aves urbanas dispersan semillas hacia quebradas y áreas periurbanas, favoreciendo la recuperación de la vegetación nativa (Muñoz-Pedrerros et al., 2018).

El control biológico es otro servicio clave. Algunos reptiles, principalmente lagartijas, aves, musarañas y murciélagos artropodófagos (comedores de insectos y arañas) consumen grandes cantidades de insectos, incluidos algunos vectores de enfermedades de transmisión al humano. En ciudades tropicales, su presencia puede reducir la abundancia de mosquitos, con implicaciones directas para la salud pública. Asimismo, aves rapaces y carnívoros pequeños y medianos regulan poblaciones de roedores, disminuyendo daños a la infraestructura y riesgos sanitarios.

No obstante, también existen dis-servicios ecológicos, los cuales han sido poco documentados (Tabla 2). Estos dis-servicios consisten en servicios al ecosistema que son percibidos de un modo negativo para el bienestar humano (Veibiakkiim et al., 2025). Ejemplos de éstos son las interacciones negativas entre humanos y fauna silvestre derivados del daño a cultivos o depredación de animales domésticos (Figura 5), daños a la infraestructura urbana o potencial transmisión de

patógenos. En la relación entre las personas y la biodiversidad, los beneficios que esta aporta a la sociedad superan ampliamente a los posibles efectos negativos. Los llamados dis-servicios ecosistémicos son mínimos frente a los múltiples aportes de la biodiversidad, que sostienen el bienestar humano, la calidad de vida y el equilibrio de los sistemas naturales y sociales. Reconocer esta dualidad es fundamental para propiciar interacciones de convivencia y coexistencia realistas entre diversas especies.



Figura 5. Tigrillo lanudo (*Leopardus tigrinus*) en una zona periurbana de la ciudad de Bogotá, Colombia, donde se ve involucrado en eventos de interacción negativa por depredación de aves de corral. Foto: ProCAT Colombia.

Tabla 2. Servicios y dis-servicios ecológicos de la fauna urbana.

Función	Servicio	Dis-servicio
Control de insectos	Menos plagas	Riesgo zoonótico
Dispersión de semillas	Regeneración vegetal	Propagación de especies exóticas
Depredación	Control de roedores y palomas exóticas	Ataque a mascotas
Carroñeo	Limpieza del ambiente	Percepción negativa

INTERACCIONES HUMANO-FAUNA: PERCEPCIONES, CONFLICTOS Y CONVIVENCIA

Las interacciones entre humano y fauna silvestre varían notablemente a lo largo del gradiente urbano–rural. En zonas urbanas, la fauna suele asociarse con beneficios

recreativos, psicológicos y culturales. La observación de aves, mariposas o pequeños mamíferos en parques urbanos puede fortalecer el vínculo con la naturaleza y mejorar el bienestar humano.

En zonas periurbanas y rurales, las percepciones suelen estar más ligadas a experiencias directas con daños a cultivos, depredación de animales domésticos o riesgos sanitarios (Figura 4). Estas diferencias influyen en la tolerancia hacia ciertas especies y en las respuestas sociales ante su presencia. Un mismo animal puede ser valorado como símbolo urbano en un contexto y percibido como amenaza en otro, en especial cuando la relación está mediada por algún proceso económico o interacción negativa con actividades productivas.

Comprender los distintos gradientes de percepción que las personas tienen sobre la biodiversidad es clave para su adecuada planificación y manejo. Estas percepciones influyen directamente en la forma en que las sociedades se relacionan con la naturaleza y constituyen la base para identificar y promover procesos de coexistencia entre las comunidades humanas y la vida silvestre, favoreciendo soluciones que integren el bienestar social y la conservación de los ecosistemas. Comprender los distintos gradientes de percepción que las personas tienen sobre la biodiversidad es clave para su adecuada planificación y manejo. Estas percepciones influyen directamente en la forma en que las sociedades se relacionan con la fauna silvestre y constituyen la base para promover procesos de coexistencia en los que se integren el bienestar humano y la conservación de los ecosistemas.

En los entornos urbanos, uno de los fenómenos más visibles de esta relación es la habituación de la fauna a la presencia humana. Si bien esta adaptación puede facilitar la convivencia cotidiana, también puede aumentar el riesgo de conflictos cuando la fauna silvestre dependen de alimentos de origen humano o modifican conductas evasivas esenciales para su supervivencia. Desde una perspectiva socio-ecológica, estos conflictos no son únicamente un problema de la fauna, sino el resultado de prácticas humanas y dinámicas urbanas (Alba-Patiño et al., 2025). Por ello, acciones como una gestión adecuada de los residuos, la regulación de perros ferales y de libre movimiento y el fortalecimiento de la educación ambiental se convierten en herramientas fundamentales para reducir interacciones negativas y

fomentar una coexistencia más equilibrada y sostenible entre las personas y la fauna silvestre.

PERSPECTIVAS FUTURAS

El estudio de la fauna en el gradiente urbano–rural es un campo en expansión, impulsado por nuevas tecnologías y enfoques interdisciplinarios. Herramientas como el fototrampeo, sensores acústicos y ciencia ciudadana están ampliando el conocimiento sobre la distribución y comportamiento de la fauna urbana. Al mismo tiempo, enfoques como Una Salud (*One Health* en inglés) resaltan la interdependencia entre salud ambiental, animal y humana.

De cara al futuro, la planificación urbana bioinspirada y el diseño de ciudades que integren procesos ecológicos ofrecen oportunidades para una coexistencia más equilibrada. Reconocer a la fauna como un componente funcional del territorio, y no como un elemento marginal, es un paso clave hacia modelos urbanos más sostenibles.

Desde una visión socio-ecológica, será importante generar políticas que promuevan el estudio y la conservación de la fauna silvestre en las ciudades, en especial en América Latina. En una revisión sistemática de literatura sobre las políticas públicas para la conservación de murciélagos en ciudades tropicales se observó un bajo número de estudios que muestran el impacto de políticas públicas para la conservación de estos mamíferos en las ciudades (Saldaña-Vázquez et al., 2025). Esto demuestra que el sistema social en las ciudades todavía está lejos de promover acciones que protejan a la fauna silvestre nativa, como se hace con la fauna doméstica exótica que suelen ser animales de compañía o mascotas.

CONCLUSIONES

La fauna silvestre a lo largo del gradiente urbano–rural no es un vestigio del pasado que se resiste a desaparecer, sino un componente activo y funcional del metabolismo de nuestras ciudades. Como se ha examinado, la biodiversidad se redistribuye y adapta en paisajes híbridos, desafiando la dicotomía tradicional entre lo "natural" y lo "artificial". El gradiente urbano-rural no es solo una herramienta de análisis espacial, sino un marco para entender que la salud de nuestras sociedades es inseparable de la integridad de los procesos ecológicos

que ocurren en el jardín de un barrio, en una barranca periurbana, un humedal o en un parche de bosque remanente.

Para avanzar hacia una coexistencia real y duradera, es imperativo transitar hacia tres ejes fundamentales: i) reconocimiento de la deuda ecológica y funcional: se debe reconocer que la balanza de la interacción humano-fauna está profundamente inclinada hacia los beneficios. Si bien los "dis-servicios" o conflictos suelen captar la atención mediática y ciudadana, estos son insignificantes frente a la magnitud de los servicios ecosistémicos — muchos aún no documentados— que la fauna provee para sostener la vida urbana. La dispersión de semillas, el control de vectores y la regulación climática no son servicios gratuitos, sino procesos que dependen de la persistencia de estas especies; ii) planificación bioinspirada y justicia ambiental: la conservación no puede seguir siendo un esfuerzo aislado de la planificación del territorio. Conceptos como la Estructura Ecológica Principal deben ser la columna vertebral del ordenamiento urbano. Integrar la biodiversidad bajo criterios de equidad es, además, un imperativo ético: el acceso a una ciudad biodiversa y funcional no debe ser un privilegio, sino un derecho que garantice resiliencia para todos los estratos sociales, reduciendo la vulnerabilidad de las comunidades ante el cambio ambiental, y; iii) gestión de la coexistencia: la convivencia informada requiere ir más allá de la simple tolerancia. Implica gestionar activamente los puntos de fricción —como el manejo de residuos y la tenencia responsable de mascotas— para evitar la habituación riesgosa, pero también implica fomentar una cultura ciudadana que entienda a la fauna como vecina, aliada o incluso una fuente de ingresos económicos derivada de actividades de ecoturismo de bajo impacto como lo es la observación de aves. La próxima vez que veas un tlacuache en tu jardín, recuerda que no es un invasor, sino un vecino trabajando de forma gratuita y desinteresada en el control de plagas de tu colonia.

En conclusión, en un siglo marcado por la urbanización acelerada de América Latina, gestionar la biodiversidad en el gradiente urbano-rural no es un ejercicio romántico de protección de la naturaleza, sino una estrategia de supervivencia urbana. Reconocer a los reptiles, aves, tlacuaches, murciélagos y mesocarnívoros como actores clave del territorio es el primer paso para construir

ciudades que no solo alberguen personas, sino que sostengan la vida en todas sus formas.

Literatura citada

- Alba-Patiño, D.; Martín-López, B.; Delibes-Mateos, M.; Requena-Mullor, J.M.; Castro, A.J. (2025) Environmental justice gaps in human-wildlife conflict research from a social-ecological systems perspective. *Biological Conservation*, 312, 111515. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111515>
- Ávila-Flores, R.; Fenton, M.B. (2005) Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy*, 86, 1193-1204. <https://doi.org/10.1644/04-MAMM-A-085R1.1>
- Baláz, I.; Košša, J.; Poláčiková, Z.; et al. (2026) Small mammal communities along an urban-rural gradient: a comparison of two time periods. *Urban Ecosystems*, 29, 15. <https://doi.org/10.1007/s11252-025-01856-7>
- Barrera-Nino, V.; Sánchez, F. (2014) Forrajeo de *Didelphis pernigra* (Mammalia: Didelphidae) en un área suburbana de la sabana de Bogotá, Colombia. *Therya*, 5, 289-302. <https://doi.org/10.12933/therya.2026.6254>
- Barrera-Vargas, J.; Delgado-V, C. A.; Arias-Alzate, A. (2023) Mesocarnivores activity patterns in the Northern Colombian Andes. *Therya*, 14(3), 371-382. <https://doi.org/10.12933/therya-23-1243>
- Demartín, R.P.; Ghirardi, R.; López, J.A. (2024) Amphibian diversity across an urban gradient in southern South America. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12, 1461147. <https://doi.org/10.103389/fevo.2024.1461147>
- Hansen, R.; Stahl Olafsson, A.; van der Jagt, A.P.N.; Rall, E.; Pauleit, S. (2019) Planning multifunctional green infrastructure for compact cities: what is the state of practice? *Ecological Indicators*, 96, 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042>
- Hernández-Romero, P.C.; Von Thaden-Ugalde, J.J.; Muench, C.E.; et al. (2024) Species richness and ecological connectivity of the mammal communities in urban and peri-urban areas at Mexico City. *Urban Ecosystems*, 27, 1781-1794. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01553-x>
- Hortelano-Moncada, Y.; Pérez-Lara, S.; Cervantes, F.A. (2025) Tlacuache: el peligro de vivir en zonas



- urbanas. *Therya ixmana*, 4(1), 19-21. https://doi.org/10.12933/therya_ixmana-25-569
- Jiménez-Alvarado, J.S.; Moreno-Díaz, C.; Alfonso, A.F.; et al. (2017) Ciudades biodiversas: mamíferos medianos de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá D. C., Colombia. *Mammalogy Notes*, 4(1), 37-41. <https://doi.org/10.47603/manovol4n1.37-41>
- Lemos, L.P.; Valle, D.; Morcatty, T.Q.; Chaves, W. (2025) Including the urbanization gradient in people-centered wildlife conservation in Amazonia. *Conservation Biology*, 39, e70049. <https://doi.org/10.1111/cobi.70049>
- Liu, N.; Liu, Z.; Kilunda, F.K.; Liu, Y., Qin, L. (2025) Urban-rural gradient in biodiversity intactness across global cities. *Ecological Informatics*, 90, 103350. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103350>
- Liu, S.; Xie, Y.; Lu, Y.; et al. (2025) Impact of urban expansion on the temporal adaptation and spatial connectivity of ecological security patterns: insights from a rapidly urbanizing metropolitan area. *Ecological Processes*, 14, 84. <https://doi.org/10.1186/s13717-025-00651-8>
- Monroy-Gamboa, A.G.; Salazar, E.A.; Meléndez-Herrada, A.; Palma I.A. (2021) Las aves del humedal de Tláhuac. In CONABIO y SEDEMA. Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad de la Ciudad de México (ECUSBE-CDMX) y Plan de Acción 2030. CONABIO/SEDEMA, pp. 251-255, México.
- Morales-Vásquez, E.; Sandoval-Ruiz, C.A.; Saldaña-Vázquez, R. A. (2018) Urban park vegetation cover predicts the removal of human food waste by animals. *Urban Forestry & Urban Greening*, 32, 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.009>
- Muñoz-Pedrerros, A.; González-Urrutia, M.; Encina-Montoya, F.; et al. (2018) Effects of vegetation strata and human disturbance on bird diversity in green areas in a city in southern Chile. *Avian Research*, 9(38), 38. <https://doi.org/10.1186/s40657-018-0130-9>
- Niesner, C.A.; Blakey, R.V.; Blumstein, D.T.; Abelson, E.S. (2021) Wildlife affordances of urban infrastructure: A framework to understand human-wildlife space use. *Frontiers in Conservation Science*, 2, 774137. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2021.774137>
- Open AI (2026) *Variación de la biodiversidad faunística con respecto a la heterogeneidad ambiental en el gradiente urbano-rural* [imagen generada con inteligencia artificial]. ChatGPT. <https://chat.openai.com/>
- Ramírez-Albores, J.E.; Sánchez-González, L.A.; Pérez-Suárez, M.; et al. (2024) Greenspaces as shelters for the conservation of bird diversity in a big city. *Urban Ecosystems*, 27, 2047–2059. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01573-7>
- Saldaña-Vázquez R.A.; Schondube J.E. (2016) La masa corporal explica la dominancia de *Artibeus* (Phyllostomidae) en ambientes urbanos. In Ramírez-Bautista A.; Pineda-López R. (Eds.) Memorias en Extenso del I Congreso de Fauna Nativa en Medios Antropizados, CONACYT-UAQ, pp. 23-33, México.
- Saldaña-Vázquez, R.A.; Carballo-Morales J.D.; Hernández-Montero J.R.; et al. (2025) Bats in Tropical Cities: The Ecology in, of and for cities. In Angeoletto, F.; Tryjanowski, P.; Fellowes, M.D.E. (Eds.), *Ecology of Tropical Cities, Volume II: Biodiversity, People & Places*, Springer Nature, pp. 235-264, Cham, Switzerland.
- San Martín-Cruz, M.A.; Villegas-Patracca, R.; Martínez-Gómez, J.E.; et al. (2024) Raptors of a Neotropical city: diversity and habitat relationships along an urbanization gradient. *Urban Ecosystems*, 27, 927–940. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01495-w>
- Scholz, C.; Teige, T.; Djoumessi, K.D.N.; et al. (2025) Dietary diversification of an insect predator along an urban-rural gradient. *Landscape and Urban Planning*, 256, 105273. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105273>
- Soulsbury, C.D.; White, P.C.L. (2015) Human-wildlife interactions in urban areas: a review of conflicts, benefits and opportunities. *Wildlife Research*, 42, 541-553. <https://doi.org/10.1071/WR14229>
- Veibiakkiim, R.; Shkaruba, A.; Sepp, K. (2025) A systematic review of urban ecosystem disservices and its evaluation: key findings and implications. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100612. <https://doi.org/10.1006/j.indic.2025.100612>
- Xavier, V.K.; Mubashshir, M.; Singh, J.; Uchil, A. (2024) Review of recent worldwide developments in urban wildlife ecology and preservation. *Multidisciplinary Review*, 6, e202355031. <https://doi.org/10.31893/multirev.202355031>
- Zellmer, A.J.; Goto, B.S. (2022) Urban wildlife corridors: Building bridges for wildlife and people. *Frontiers in*



Sustainable Cities, 4, 954089.
<https://doi.org/10.3389/frsc.2022.954089>






Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.



Artículo de divulgación

Biomasa forestal y energía en el gradiente urbano–rural: beneficios, riesgos y desafíos para la sostenibilidad

Forest biomass and energy along the urban–rural gradient: benefits, risks, and challenges for sustainability

René García-Martínez ¹ , Marlín Pérez-Suárez ² , Lizbeth Carrillo-Arizmendi ^{2,*} , Juan Carlos Montoya-Jiménez ¹ , Julio César Ayllón-Benítez 

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Carretera Federal Valle de Bravo Km. 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, 51200, Estado de México, México.

² Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera El Cerrillo-Piedras Blancas s/n, Toluca de Lerdo, 50295, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: lizbeth_18_ca@hotmail.com

Recibido:

1/04/2026

Aceptado:

30/04/2026

Publicado:

8/05/2026

RESUMEN

El crecimiento de la población mundial y el aumento de las actividades humanas han incrementado de forma sostenida la demanda de energía, la cual continúa dependiendo mayoritariamente de los combustibles fósiles, con impactos negativos sobre el ambiente y la salud. En este contexto, la biomasa de los árboles se presenta como una alternativa energética renovable y accesible, ampliamente utilizada en zonas rurales, periurbanas y urbanas. Este artículo analiza el potencial de la biomasa forestal para contribuir a la transición energética, reducir la presión sobre los combustibles fósiles y fortalecer las economías locales. Asimismo, se examinan sus usos a lo largo del gradiente urbano–rural y los beneficios asociados a su aprovechamiento responsable, como la prevención de incendios forestales y la mitigación del cambio climático. No obstante, también se abordan sus principales desventajas, particularmente los riesgos para la salud derivados de la combustión ineficiente de biomasa, que genera contaminación del aire en espacios cerrados y emisiones de partículas finas asociadas a enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otros padecimientos, especialmente en poblaciones vulnerables. Finalmente, se destaca que el uso sostenible de la biomasa forestal debe ir acompañado de manejo forestal responsable y tecnologías de combustión más limpias, a fin de maximizar sus beneficios energéticos y sociales, minimizando sus impactos ambientales y sanitarios.

Palabras clave: árboles, carbón, energía renovable, leña, recursos forestales.

ABSTRACT

The growth of the global population and the increase in human activities have steadily raised energy demand, which continues to rely predominantly on fossil fuels, resulting in negative impacts on the environment and human health. In this context, tree biomass emerges as a renewable and accessible energy alternative, widely used in rural, peri-urban, and urban areas. This article analyzes the potential of forest biomass to contribute to the energy transition, reduce pressure on fossil fuels, and strengthen local economies. It also



examines its uses along the urban–rural gradient and the benefits associated with its responsible use, such as forest fire prevention and climate change mitigation. However, the main disadvantages are also addressed, particularly the health risks derived from inefficient biomass combustion, which generates indoor air pollution and fine particulate emissions associated with respiratory, cardiovascular, and other diseases, especially among vulnerable populations. Finally, it is emphasized that the sustainable use of forest biomass must be accompanied by responsible forest management and cleaner combustion technologies to maximize its energy and social benefits while minimizing environmental and health impacts.

Keywords: charcoal, firewood, forest resources, renewable energy, trees.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las proyecciones de la ONU para el 2050, la población mundial alcanzará 9700 millones de personas que vivirán, en su mayoría, en ciudades, lo que incrementará de manera significativa la demanda de energía (FAO, 2018). La energía es una necesidad básica para la vida moderna: se utiliza en actividades cotidianas como el funcionamiento de vehículos, equipos domésticos y electrónicos, la generación de calor y el desarrollo de procesos industriales, lo que implica una constante quema de combustibles fósiles. En el gradiente urbano–rural, esta demanda energética varía de acuerdo con el nivel de desarrollo, las actividades económicas y el acceso a infraestructura. En las ciudades, el consumo es alto y constante, impulsado por viviendas, servicios, industria, transporte y el uso intensivo de tecnologías. En las zonas periurbanas, el consumo es intermedio y heterogéneo, con patrones mixtos y un crecimiento acelerado que suele superar la capacidad de la infraestructura existente. En las zonas rurales, la demanda es menor y más variable, enfocada en usos domésticos y productivos básicos, con frecuencia apoyada en fuentes tradicionales y con limitaciones en el acceso y la calidad del servicio. Esta diferenciación a lo largo del gradiente urbano–rural es clave para comprender los retos y oportunidades de la transición energética, tanto a nivel global como en países como México, donde la diversidad territorial y socioeconómica acentúa estas diferencias.

Actualmente, los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) representan aproximadamente el 86 % de la demanda mundial de energía primaria (Abas et al., 2015). Sin embargo, su combustión libera grandes cantidades de gases de efecto invernadero, lo que los convierte en una de las principales fuentes de

contaminación y cambio climático (Soeder, 2025). Frente a este panorama, la energía de biomasa se presenta como una alternativa sustentable y estratégica. La biomasa está presente en la madera, las hojas de las plantas y los residuos agrícolas, y a diferencia del petróleo, constituye un recurso renovable y natural con gran potencial para impulsar el desarrollo en comunidades rurales y periurbanas, además de ofrecer soluciones innovadoras en entornos urbanos mediante el aprovechamiento de residuos forestales y urbanos.

En la naturaleza, la biomasa se almacena en las plantas durante su crecimiento. En el caso de los árboles, está representada por la cantidad total de materia leñosa presente tanto en la parte aérea como en la subterránea (Rondeux, 2010). Este crecimiento es posible gracias a la fotosíntesis, proceso biológico mediante el cual las plantas transforman la luz del sol y el dióxido de carbono (CO₂) del aire para la producción de madera, siendo la celulosa el principal componente estructural de esta (Figura 1). La biomasa forestal, por tanto, constituye una fuente abundante de energía renovable que puede ser aprovechada de manera diferenciada en cada tramo del gradiente urbano–rural: desde el uso doméstico en comunidades rurales, pasando por actividades productivas en zonas periurbanas, hasta proyectos de generación eléctrica y economía circular en ciudades. Anualmente, la energía generada por la biomasa vegetal en el planeta es de aproximadamente 800 000 teravatiohora (TWh), de los cuales 42 % proviene de los bosques, 38 % de océanos, 9 % de pastizales y solo 5 % de las áreas de cultivo (Czisch, 2011). Esta cifra equivale a cubrir la demanda mundial por más de cuatro años, lo que evidencia su enorme potencial. En el caso de México, donde la población se distribuye de manera desigual entre grandes ciudades, zonas periurbanas en expansión y comunidades rurales con fuerte dependencia de la leña,



la biomasa representa una oportunidad para diseñar estrategias energéticas adaptadas a cada contexto, fortaleciendo la resiliencia de los territorios y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

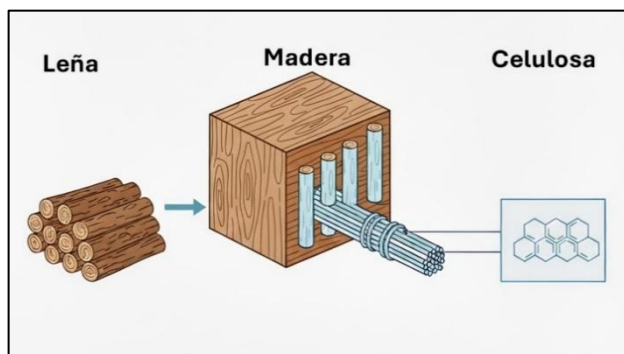


Figura 1. Representación de la composición química de la energía de biomasa. Imagen generada por inteligencia artificial mediante Microsoft Copilot (OpenAI, 2026).

LA BIOMASA DE LOS ÁRBOLES

La energía generada por la biomasa proveniente de los bosques se considera limpia porque se produce de manera natural a partir de la fotosíntesis y no genera emisiones adicionales de CO₂ durante su formación. Al ser la más abundante del planeta, constituye una alternativa energética renovable viable que, utilizada con las tecnologías adecuadas, puede reemplazar una proporción considerable del uso de combustibles fósiles (García-Ubaque et al., 2013).

Los materiales forestales más comunes como fuente de energía son la leña, el carbón vegetal, las briquetas y los pellets de madera (Figura 2). La leña corresponde a la madera cortada de árboles y arbustos; las briquetas y pellets se forman al compactar residuos de madera molida; y el carbón se obtiene de la combustión incompleta de la leña u otros materiales vegetales.



Figura 2. Residuos de la cosecha de árboles que se utilizan como energía de biomasa (leña). Foto: RGM

En México, según datos del INEGI (2018), el 21 % de la población utilizaba leña o carbón como fuente de energía, principalmente en comunidades rurales. Los estados de Veracruz, Chiapas y Oaxaca reportan el mayor consumo de este producto forestal (Figura 3).

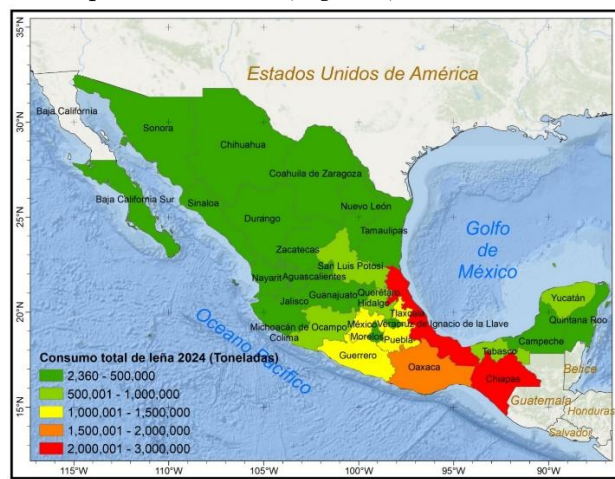


Figura 3. Distribución del consumo de leña en México, con datos obtenidos de Masera et al. (2010) (IMAGEN: JCMJ).

En las zonas rurales del país, la proporción de hogares que usan leña o carbón es mayor, mientras que en ciudades grandes y medianas el uso relativo es menor, aunque puede crecer en términos absolutos. Esto refleja tanto desigualdades socioeconómicas como transiciones energéticas incompletas entre diferentes tipos de asentamientos. En las ciudades, el acceso a combustibles modernos como gas LP o electricidad es más amplio, pero

ciertos grupos urbanos con limitaciones económicas mantienen el uso de leña o carbón. En contraste, en áreas rurales la dependencia sigue siendo alta por razones de acceso y costo (Alvarado-Machuca et al., 2018).

BIOMASA EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL

La mayoría de la leña y carbón se obtiene de los bosques (Figura 4). En comunidades rurales, las personas recolectan o compran ramas de árboles que quedan como residuos de la industria maderera. En las ciudades, la leña y el carbón suelen obtenerse principalmente a través de canales comerciales: mercados locales, tianguis, expendios formales o informales y proveedores que transportan estos combustibles desde zonas rurales o forestales cercanas.

Sin embargo, en el entorno urbano existe un potencial adicional: el aprovechamiento de residuos del arbolado urbano derivados del manejo y mantenimiento de áreas verdes, como podas programadas, derribo de árboles muertos o enfermos y renovación de parques y camellones. Este enfoque promueve la economía circular urbana, reduce costos de disposición de residuos y contribuye al uso eficiente de la biomasa, mostrando cómo el gradiente urbano-rural abre distintas oportunidades de aprovechamiento.



Figura 4. Horno rústico para producción de carbón a partir de madera de encino. Foto: RGM

El uso responsable de la biomasa puede contribuir a reducir la tala ilegal, prevenir incendios forestales, mitigar el cambio climático, disminuir la contaminación

del aire y generar empleos en comunidades rurales. Se estima que un incendio forestal puede consumir desde 58 Mg ha⁻¹ de biomasa en un bosque templado hasta 126 Mg ha⁻¹ en una selva tropical (van Leeuwen et al., 2014). Además, el aprovechamiento sustentable fomenta la soberanía energética y fortalece las economías locales.

¿CUÁNTA ENERGÍA LIBERA LA BIOMASA FORESTAL?

La capacidad calorífica de la biomasa es la energía liberada al quemar la biomasa seca y se mide en MJ kg⁻¹. Las hojas, corteza y madera de encino tienen una capacidad calorífica de 18 MJ kg⁻¹ (Orémusová et al., 2012). Los valores caloríficos de la leña, carbón y briquetas oscilan entre 13 MJ kg⁻¹ y 32 MJ kg⁻¹ (Bosire et al., 2023).

La leña y las briquetas liberan cantidades similares de energía, pero el poder calorífico del carbón es casi el doble que el de la leña, lo que lo hace ideal para usos que requieren altas temperaturas, como parrillas y forjado de metales. La cantidad de energía que aporta la madera depende de su contenido de carbono, densidad (dura o blanda) y humedad.

- Maderas duras como encino y mezquite liberan más energía y producen brasas duraderas, ideales para alimentos que requieren largas cocciones como el nixtamal y las tortillas (Martínez-Camilo et al., 2024).
- Maderas blandas como pino y oyamel generan menos energía y brasas menos resistentes.
- La humedad disminuye la eficiencia de combustión, ya que parte del calor se destina a evaporar el agua presente en el combustible (Tucho et al., 2023).

USO DE LA LEÑA EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL

El uso de la leña y carbón varía según el entorno:

- Zonas rurales: calefacción de viviendas, cocción de alimentos, calentamiento de agua, ceremonias, remedios medicinales, trabajo agrícola y elaboración de artesanías (CONABIO, 2020).

- Zonas periurbanas y urbanas: restaurantes, fondas, panaderías y comercio informal, donde se valoran por su bajo costo, disponibilidad y el sabor tradicional que aportan a los alimentos. También se emplean en actividades recreativas y culturales como asadores y ferias gastronómicas.

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, se identifican tres tipos de establecimientos de alimentos que usan leña (Díaz-Nigenda et al., 2021):

- Grandes franquicias con asadores eficientes.
- Establecimientos medianos con asadores semiestructurados en ladrillos.
- Pequeños negocios con asadores metálicos de menor tamaño.

ESTUFAS AHORRADORAS PARA LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA

La forma más rudimentaria de aprovechamiento de la biomasa es mediante fogones tradicionales (Figura 5). Las estufas domésticas ecológicas aprovechan mejor el calor liberado por la combustión de la leña y representan una alternativa más eficiente y saludable en zonas rurales (UNAM, 2022).

En zonas urbanas y periurbanas, donde la leña o el carbón es fácil de adquirir, también se utilizan estas estufas. En contraste, las estufas de pellets se han diseñado principalmente para zonas residenciales urbanas, ofreciendo mayor automatización, rendimiento y menor mantenimiento (Sandro et al., 2019).



Figura 5. Estufas ecológicas de alta eficiencia térmica a partir de la combustión de leña. Foto: RGM

PROBLEMAS DE SALUD POR LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA

Aunque la biomasa es una alternativa sustentable, su combustión ineficiente genera riesgos. Fullerton et al. (2008) señalan que la leña para cocinar contribuye a niveles muy altos de contaminación del aire doméstico, especialmente de partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$). Este fenómeno se asocia a un mayor riesgo de muerte prematura por infecciones respiratorias agudas, enfermedades neonatales, pulmonares crónicas, cardiovasculares, neoplásicas y también a cataratas y diabetes (Carrillo-Arizmendi, 2025; Krittanawong et al., 2023). Los niños y las mujeres rurales son los más afectados por la exposición prolongada al humo.

En las ciudades también se generan emisiones: Díaz-Nigenda et al. (2021) cuantificaron emisiones de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ de 27.30 t año^{-1} y 14.03 t año^{-1} , respectivamente, por el uso de leña en restaurantes de comida rápida. Sumadas al smog del transporte y las fábricas, representan un riesgo latente para la salud de la población citadina.

CONCLUSIONES

La biomasa de los árboles constituye una alternativa sustentable para la producción de energía y la diversificación de la matriz energética, al tratarse de un recurso renovable con alto potencial energético. Los bosques representan la principal fuente de biomasa vegetal a nivel global y su aprovechamiento puede contribuir a reducir la dependencia de los combustibles fósiles. En el gradiente urbano-rural, la biomasa forestal adquiere significados distintos pero complementarios: en las zonas rurales es un recurso vital para la vida cotidiana y la soberanía energética de las comunidades; en los espacios periurbanos se vincula a actividades productivas y comerciales que requieren soluciones intermedias y flexibles; mientras que en las ciudades se integra a proyectos de economía circular y generación eléctrica, aprovechando residuos de poda y mantenimiento de áreas verdes. Esta diversidad de usos muestra que la biomasa no solo es una fuente de energía, sino también un puente que conecta realidades sociales y territoriales. Cuando se aprovecha de manera responsable, la biomasa forestal puede contribuir a la mitigación del cambio climático, la prevención de

incendios forestales y el fortalecimiento de las economías locales, consolidándose como una opción clave dentro de las estrategias de desarrollo sostenible. En el caso de México, donde coexisten grandes metrópolis, zonas periurbanas en expansión y comunidades rurales con fuerte dependencia de la leña, la biomasa ofrece una oportunidad para diseñar políticas energéticas diferenciadas que respondan a las necesidades de cada contexto. Así, este recurso se convierte en un elemento estratégico para avanzar hacia una transición energética justa, resiliente y adaptada a la complejidad del gradiente urbano-rural.

Agradecimientos

RGM agradece a la asociación de ingenieros forestales egresados del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, por la información compartida relacionada con el aprovechamiento de los recursos forestales.

Literatura citada

Abas, N.; Kalair, A.; Khan, N. (2015) Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures*, 69, 31–49. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.03.003>

Alvarado-Machuca, S.V.; Álvarez-Sánchez, E.; Maldonado-Torres, et al. (2018) *Consumo de leña en México: hábitos de uso, problemática asociada y alternativas sostenibles de solución*. En Álvarez-Sánchez, M.E.; Vázquez-Alarcón, A. (Coords.), *Agroforestería para la conservación de los recursos naturales y productividad* (pp. 64-87). Universidad Autónoma Chapingo.

Bosire, J.O.; Osano, A.M.; Oyaro, N.; Maghanga, J.K.; Forbes, P. (2023) Characterization of Selected Solid Fuels and Their Calorific Values in Kenya: A Case Study of Bomet, Narok, Taita-Taveta, and Mombasa Counties. *Chemistry Africa* 7, 1509–1522. <https://doi.org/10.1007/s42250-023-00811-3>

Carrillo-Arizmendi, L.; Pérez-Suárez, M.; García-Martínez, R. (2025) ¡Humo! ¡Alerta! La amenaza invisible de las quemadas agrícolas. *Revista de Divulgación y Transferencia Tecnológica. Agraria*, 22(1), 5-9. <https://doi.org/10.59741/ttbar142>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020) Combustible.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/combustible>

Czisch, C.G. (2011) Scenarios for a Future Electricity Supply: Cost-optimized variations on supplying Europe and its neighbours with electricity from renewable energies. United Kingdom: Institution of Engineering and Technology (IET). <https://doi.org/10.1049/PBRN010E>

Díaz-Nigenda, E.; Vázquez-Morales, W.; Venegas Sandoval, A.; Morales-Iglesias, H.; Hernández Jiménez, S. (2021). Emisiones generadas por el consumo de leña y carbón en la preparación de comida rápida. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1-9. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2962>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018) *The future of food and agriculture-Alternative pathways to 2050*. Rome. 224 pp.

Fullerton, D.G.; Bruce, N., Gordon, S.B. (2008) Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major public health concern in the developing world. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(9), 843–851. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2008.04.028>

García-Ubaque, C.; Vaca-Bohorquez, M.L.; Talero, G.F. (2013) Aprovechamiento de biomasa peletizada en el Sector Ladrillero en Bogotá-Colombia: Análisis Energético y Ambiental. *Información Tecnológica*, 24(3), 115-120. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v24n3/art13.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018) Nota técnica Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA). https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/buletines/2018/GrfiaMdoAmte/MOHOMA2018_06.pdf

Krittanawong, C.; Qadeer, Y.K.; Hayes, R.B.; Wang, Z.; Thurston, G.D.; Virani, S.; Lavie, C.J. (2023) PM_{2.5} and cardiovascular diseases: State-of-the-Art review. *International Journal of Cardiology. Cardiovascular Risk and Prevention*, 19, 200217. <https://doi.org/10.1016/j.ijcrp.2023.200217>

Macera, O.; Arias-Chalico, T.; Ghilardi, A.; Guerrero, G.; Patiño, P. (2010) Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024 (incluyendo la metodología de cálculo).



Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en ecosistemas.

Martínez-Camilo, R.; Hernández-Rodríguez, J.P.; Grajales-López, G.J.; Martínez-Meléndez, N.; Martínez-Meléndez, M. (2024) Consumo de leña en fondas turísticas tradicionales en un paisaje biocultural del sureste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(3), 91-105. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.03.007>

Sandro, N.; Papadopoulos, A.; Radica, G.; Zanki, V.; Arici, M. (2019) Using pellet fuels for residential heating: A field study on its efficiency and the users' satisfaction. *Energy and Buildings*, 184, 193–204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.007>

Soeder, D.J. (2025) Greenhouse Gas and Climate Change. In: *Energy Futures*. Springer, Cham, pp. 97–141. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83603-9_5

OpenAI. (2026) Representación de la composición química de la energía de biomasa. [Imagen generada por inteligencia artificial]. Copilot. <https://copilot.microsoft.com/>

Orémusová, E., Makovická, I., Osvald, A. (2012) Gross calorific value of leaves, bark, and branches of selected deciduous trees. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava*, 2(1), 32-36. <https://core.ac.uk/download/pdf/10671959.pdf>

Rondeux, J. (2010) Medición de árboles y masas forestales. Madrid: Mundi-Prensa.

Tucho, B.G.; Etefa, H.F.; Kumar, V.; Raba, G.A.; Efa, M.T.; Dejene, F.B. (2023) Effect of wood moisture content on the performance of wood burning cook stoves. *International Journal of Sustainable Engineering*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/19397038.2022.2159568>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (15 de junio de 2022). Estufas de leña mejoradas. Obtenido de Ecotec: <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/estufas-de-lena-mejoradas>

van Leeuwen, T.T.; van der Werf, G.R.; Hoffmann, A.A.; et al. (2014) Biomass burning fuel consumption rates: A field measurement database. *Biogeosciences*, 11(24), 7305–7329. <https://doi.org/10.5194/bg-11-7305-2014>

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

