

Navojoa, Sonora, 2001-2021: Análisis geoespacial del cambio del uso de suelo

Navojoa, Sonora, 2001-2021: Geospatial analysis of land use change

Francisco Humberto **Valdez-Sandoval**¹, Aniela Guadalupe **Valdez-Sandoval**², Allán **Chacara-Montes**³

Resumen

La investigación evaluó los cambios en el uso del suelo y la expansión urbana en Navojoa, Sonora, durante el periodo 2001–2021, con el fin de comprender la magnitud de la transformación territorial y sus implicaciones ambientales. Su importancia radicó en la necesidad de generar información geoespacial precisa para apoyar procesos de planeación urbana y conservación ecológica en ciudades medianas expuestas a un crecimiento acelerado. El estudio utilizó cartografía oficial de uso del suelo y vegetación, y aplicó un análisis multitemporal mediante matrices de transición y transiciones sistemáticas, lo que permitió cuantificar pérdidas, ganancias, intercambios y tasas de cambio entre categorías. Este enfoque facilitó identificar patrones espaciales y la dirección de las principales transiciones registradas. Los resultados mostraron que la superficie urbana

aumentó de 1979.03 ha a 3 617.81 ha, mientras que la agricultura de riego disminuyó de 898.77 ha a 421.56 ha. Las coberturas naturales experimentaron retrocesos severos: el matorral y el mezquital desaparecieron, la vegetación secundaria se redujo drásticamente y el pastizal presentó una disminución significativa. Se observó que la urbanización avanzó principalmente sobre vegetación secundaria y pastizales, lo que evidenció una pérdida sustancial de conectividad ecológica y una marcada fragmentación del paisaje. Se concluyó que el crecimiento urbano reconfiguró de manera profunda el territorio, redujo la disponibilidad de suelos agrícolas y eliminó gran parte de las coberturas naturales. Esta dinámica señaló la necesidad de fortalecer la planeación territorial, conservar corredores ecológicos e incorporar infraestructura verde para mejorar la resiliencia

¹Universidad Autónoma de Sinaloa

²Instituto Tecnológico de Sonora

³Instituto Tecnológico de Sonora

Recibido: 1 de diciembre de 2025

Aceptado: 10 de febrero de 2026

Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai 3(1): 295-320

doi.org/10.35197/rx.22.01.2026.13.fv

ambiental ante futuros procesos de urbanización.

Palabras clave: Degradación ambiental, transformación territorial, expansión urbana, crecimiento urbano, tabulación cruzada.

Abstract

The research evaluated land use changes and urban expansion in Navojoa, Sonora, during the 2001-2021 period, with the objective of understanding the magnitude of territorial transformation and its environmental implications. Its importance lay in the need to generate precise geospatial information to support urban planning and ecological conservation processes in medium-sized cities undergoing accelerated growth. The study used official land use and vegetation maps and applied a multitemporal analysis through transition matrices and systematic transitions, which made it possible to quantify losses, gains, exchanges, and change rates among categories. This approach enabled the identification of spatial patterns and the direction of the main transitions documented. The results showed that

urban area increased from 1,979.03 ha to 3,617.81 ha, while irrigated agriculture decreased from 898.77 ha to 421.56 ha. Natural cover types experienced severe declines: shrubland and mesquite scrub disappeared, secondary vegetation was drastically reduced, and grassland showed a significant decrease. Urbanization advanced mainly over secondary vegetation and grasslands, evidencing a substantial loss of ecological connectivity and marked landscape fragmentation. It was concluded that urban growth deeply reconfigured the territory, reduced the availability of agricultural land, and eliminated much of the natural cover. This dynamic highlighted the need to strengthen land use planning, preserve ecological corridors, and incorporate green infrastructure to improve environmental resilience in the face of future urbanization processes.

Keywords: Environmental degradation, territorial transformation, urban expansion, urban growth, cross tabulation.

INTRODUCCIÓN

La transformación y cobertura del suelo constituye uno de los principales impulsores del cambio ambiental global, afectando procesos ecológicos esenciales como la productividad primaria, el ciclo del carbono y la resiliencia de los ecosistemas. Estudios recientes evidencian que las modificaciones antrópicas en la cobertura terrestre pueden reducir de manera significativa la productividad primaria bruta e incluso tener efectos comparables o superiores a los del cambio climático en determinados escenarios, resaltando la necesidad urgente de comprender su dinámica espacial y temporal (Hou et al., 2022; Krause et al., 2022).

Simultáneamente, la expansión urbana y la intensificación agropecuaria han reconfigurado los paisajes en múltiples regiones del mundo, generando presiones sobre los servicios ecosistémicos, especialmente la regulación

hídrica, la retención de suelos y el control microclimático. Estas presiones inciden directamente en el avance hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente aquellos relacionados con ciudades sostenibles y protección de ecosistemas terrestres (Pandey y Ghosh, 2023; United Nations, 2024).

En América Latina, las tendencias recientes muestran procesos acelerados de expansión urbana y desigualdades socioespaciales persistentes, lo que exige reforzar la planificación territorial mediante evidencia geoespacial actualizada. Informes regionales recomiendan integrar monitoreo sistemático y multiescalar del uso del suelo para enfrentar retos como la informalidad, el acceso desigual a infraestructura y la vulnerabilidad climática (Angel et al., 2025).

A nivel global, nuevas investigaciones revelan una tendencia hacia patrones de crecimiento urbano más compactos en megaciudades, acompañada de variaciones regionales en la morfología urbana y la eficiencia en el uso del suelo. Estos hallazgos subrayan la importancia de estudios locales que permitan comprender las trayectorias específicas de urbanización y cambio territorial (Hou et al., 2023).

En paralelo, innovaciones recientes en observación de la tierra han permitido generar mapas de cobertura del suelo prácticamente en tiempo real, superando rezagos históricos y mejorando la capacidad para detectar procesos tempranos como deforestación, expansión urbana dispersa y cambios agropecuarios intensivos (Brown et al., 2022; Potapov et al., 2022). Asimismo, plataformas como Google Earth Engine han facilitado análisis repetibles y escalables de series temporales LULC mediante algoritmos de aprendizaje automático con altos niveles de precisión (Tesfaye et al., 2024; Zhang et al., 2024).

En el noroeste de México, la región de Sonora presenta una larga historia de transformación territorial vinculada a la expansión agrícola, el crecimiento urbano y cambios ambientales asociados. Investigaciones recientes en la subcuenca del río Yaqui documentan cómo las conversiones de bosque a pastizal entre 2000 y 2020 incrementaron la erosión y el transporte de sedimentos, comprometiendo infraestructura hidráulica estratégica (Areu Rangel et al., 2024). A nivel municipal, Navojoa ha actualizado recientemente sus diagnósticos y programas de desarrollo urbano, los cuales reconocen la necesidad de integrar análisis geoespaciales confiables sobre los cambios de uso del suelo (Ayuntamiento de Navojoa, 2024).

A pesar de los antecedentes disponibles, persiste una brecha de conocimiento sobre la trayectoria espacio-temporal del cambio de uso del suelo en Navojoa, en un contexto de creciente urbanización, reconfiguración agrícola y transformación de coberturas naturales. Contar con series multitemporales comparables y validadas con métricas de precisión fortalece la gobernanza territorial y orienta políticas públicas alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, particularmente el ODS 11 (planificación urbana sostenible), el ODS 15 (gestión sostenible del suelo), el ODS 2 (agricultura sostenible) y el ODS 13 (integración de medidas climáticas en la planificación). (Potapov et al., 2022; UN-Habitat, 2024).

En este contexto, el presente artículo se justifica por la necesidad de generar evidencia científica local basada en datos abiertos y metodologías reproducibles. Su objetivo general es analizar el cambio de uso del suelo en Navojoa, Sonora, México durante 2001-2021 mediante técnicas de análisis geoespacial, a fin de cuantificar transiciones clave entre clases de cobertura, identificar patrones espacio temporales de expansión, y aportar evidencia para la planificación urbana y ambiental local.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Para el análisis se emplearon los mapas de uso del suelo y vegetación a escala 1:250 000, correspondientes a la serie II y serie VII de cobertura nacional, disponibles en el portal de información geoespacial del Instituto Nacional de estadística y Geografía INEGI (CONABIO, 2021). A partir de estos insumos cartográficos, se integró una matriz de transición en la tabla 1, al combinar la cartografía del año 2001 con la de 2021. En dicha matriz, las filas representan las clases presentes en el primer momento temporal y las columnas corresponden a las clases del segundo momento (Pontius et al., 2004).

Siguiendo el enfoque de López y Plata (2009), los valores ubicados sobre la diagonal principal (P_{ij}) indican las áreas que permanecieron sin cambios entre ambos periodos (P_{11} , P_{22} y P_{33}), mientras que los valores fuera de la diagonal reflejan las conversiones entre categorías. Asimismo, la fila Total T2 ($P+1$, $P+2$ y $P+3$) expresa la superficie total ocupada por cada clase en el tiempo 2 ($P+n$) y la columna Total T1 ($P1+$, $P2+$ y $P+$), el área total de las categorías en el tiempo 1 ($P+n$).

Posteriormente, se incorporó la fila 5 ($P+1-11$, $P+2-22$ y $P+3-33$), correspondiente a la ganancia bruta (G_{ij}), la cual cuantifica el incremento de superficie registrado por cada categoría entre 2001 y 2021. Este valor se

obtiene al restar el área que permaneció sin cambios del total reportado en la fila previa. De manera complementaria, la columna 5 ($P1+-P11$, $P2+-P22$ y $P3+-P33$) representa la pérdida bruta (L_{ij}), definida como la reducción de superficie que experimentó cada clase en el periodo analizado, calculada mediante la diferencia entre los valores iniciales y los que se mantuvieron constantes en la diagonal principal. Asimismo, se consideró el indicador de intercambio, el cual describe las modificaciones en la estructura espacial de las categorías y refleja la magnitud de la superficie que transitó entre clases durante el periodo de estudio (López y Plata, 2009).

Tabla 1.
Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferente fecha

		Tiempo 2		Total tiempo 1	Pérdidas
		Categoría			
	Categoría 1	Categoría 2	3		
Tiempo 1					
Categoría 1	P11	P12	P13	P1+	P1+ - P11
Categoría 2	P21	P22	P23	P2+	P2+ - P22
Categoría 3	P31	P32	P33	P+	P3+ - P33
Total tiempo 2	P + 1	P + 2	P + 3	P	
Ganancias	P + 1 - P11	P + 2 - P22	P + 3 - P33		

Nota: Elaboración propia con base a Pontius et al. (2004).

La construcción de esta matriz constituye el punto de partida para la obtención de información que posibilita analizar los cambios espaciales tanto a un nivel general como a un nivel más detallado. Esta herramienta analítica permite distinguir si las transformaciones observadas responden a procesos de transición sistemática o si derivan de variaciones aleatorias. En este sentido, el nivel global se refleja mediante la variación neta de cada categoría, la cual se calcula como la diferencia entre la superficie total registrada en el tiempo 2 (T2) y el total correspondiente al tiempo 1 (T1), conforme al método propuesto por López y Plata (2009):

$$D_j = (T_2 - T_1)$$

Asimismo, con el propósito de identificar si los cambios observados entre categorías corresponden a patrones sistemáticos, es necesario evaluar la magnitud y relevancia de las ganancias y pérdidas registradas. Para ello, se generan dos matrices denominadas matrices de transición sistemática: una para las ganancias y otra para las pérdidas. Estas matrices cuantifican la proporción que representan dichas variaciones considerando la superficie esperada de cada categoría en el segundo periodo, en caso de que las transformaciones respondieran exclusivamente a procesos aleatorios. Finalmente, la interpretación de la tabla de transición sistemática se basa en comparar los valores observados con los valores esperados, con el fin de determinar si las transiciones evidencian una tendencia sistemática o un comportamiento atribuible al azar (López y Plata, 2009).

$$G_{ij} = (P_{+j} - P_{jj}) (P_{i+} / (1 - P_{j+}))$$

Donde G_{ij} representa la transición prevista de la categoría i a la categoría j mediante un proceso aleatorio de ganancia, $P_{+j} - P_{jj}$ representa la ganancia total percibida de la categoría j , P_{i+} representa el tamaño de la categoría i durante el tiempo 1 y $1 - P_{j+}$ representa la suma de los tamaños de todas las categorías, excluyendo a la categoría j durante el tiempo 1.

Área de estudio

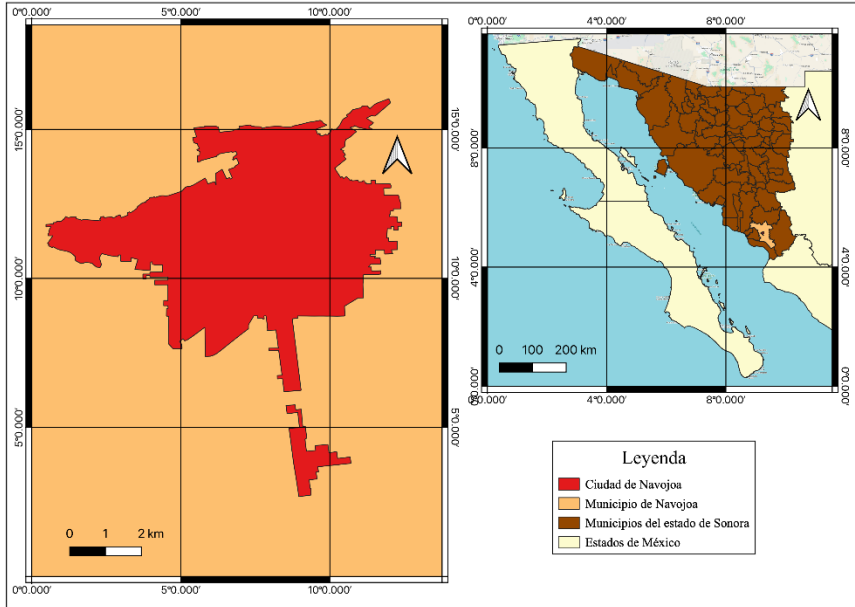
La ciudad de Navojoa (ver figura 1) se localiza en el sur del estado de Sonora, México, dentro del Valle del Mayo, una región caracterizada por su planicie aluvial y su vocación agrícola. Geográficamente, se encuentra aproximadamente entre los $27^{\circ}04'$ y $27^{\circ}06'$ de latitud norte y los $109^{\circ}26'$ y $109^{\circ}28'$ de longitud oeste, lo que la sitúa en la porción meridional del estado, próxima al límite con Sinaloa (INEGI, 2001). Esta ubicación le confiere condiciones climáticas propias de zonas semiáridas cálidas, con temperaturas elevadas y precipitaciones concentradas en verano, factores que han favorecido el desarrollo de sistemas de riego y agricultura intensiva (SEMARNAT, 2002).

El municipio se extiende sobre una planicie formada por depósitos aluviales del río Mayo, lo que ha permitido la instalación de infraestructura hidráulica y la consolidación de una economía agroindustrial (Velázquez et al., 2002). Navojoa se conecta con el resto del país mediante la carretera federal 15, un eje fundamental

para el transporte de mercancías y personas, que articula la ciudad con Hermosillo al norte y con Los Mochis al sur (CONAPO, 2025). Esta conectividad ha sido determinante para su crecimiento urbano y para la expansión de actividades comerciales y de servicios.

Figura 1.

Área de estudio



Nota: Elaboración propia en QGIS 3.18.

En términos regionales, Navojoa forma parte del corredor económico del noroeste mexicano, junto con ciudades como Ciudad Obregón y Los Mochis, lo que le otorga un papel relevante en la dinámica socioeconómica de la región (Sánchez-Duarte, Bracamontes-Nevárez y Álvarez-Chávez, 2020). Su localización en el valle, rodeada de áreas agrícolas y ecosistemas semiáridos, genera una interacción compleja entre urbanización, producción agropecuaria y conservación ambiental. Esta relación se refleja en los retos actuales de ordenamiento territorial, donde la expansión urbana compite con la preservación de suelos productivos y la protección de remanentes de vegetación natural (López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis la figura 2 de uso del suelo en la ciudad de Navojoa para el año 2001 muestra una estructura territorial compleja, donde se distinguen claramente diferentes categorías de ocupación y cobertura. El núcleo urbano, representado en color rojo, se localiza en la parte central del mapa y constituye el espacio más consolidado, concentrando actividades residenciales, comerciales y de servicios. Este patrón compacto, con ligeras extensiones hacia el norte y el sur, refleja un crecimiento lineal vinculado a los principales ejes carreteros, lo que indica una expansión controlada, pero con tendencia a la dispersión periférica. La presencia de esta área urbana es fundamental para comprender la dinámica socioeconómica de la región, ya que actúa como centro articulador de la actividad agrícola y comercial del valle del Mayo (INEGI, 2001).

Al norte y sur del núcleo urbano se extienden amplias superficies destinadas a agricultura de riego, representadas en color verde claro. Estas áreas constituyen la principal actividad productiva y se benefician de la infraestructura hidráulica asociada al río Mayo, lo que permite el desarrollo de cultivos intensivos como trigo, maíz y hortalizas. La distribución espacial de estas zonas agrícolas evidencia la vocación agroindustrial de Navojoa y su dependencia de los recursos hídricos, así como la presión que estas actividades ejercen sobre los ecosistemas naturales circundantes. Este patrón confirma la importancia del sector agrícola en la economía local y su papel en la configuración del paisaje regional (Velázquez et al., 2002).

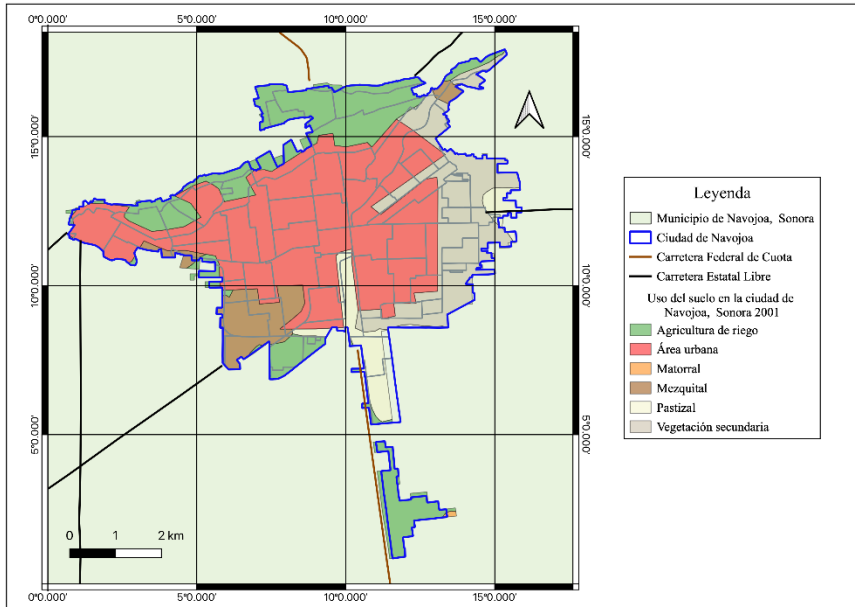
En la periferia occidental se identifican áreas de mezquital, representadas en color marrón, que corresponden a vegetación arbustiva adaptada a condiciones semiáridas. Estas zonas cumplen funciones ecológicas relevantes, como la conservación de suelos y la provisión de hábitat para fauna silvestre, aunque presentan signos de presión antrópica por actividades ganaderas y desmontes para ampliar la frontera agrícola. La presencia del mezquital en esta región indica la transición entre áreas agrícolas intensivas y ecosistemas naturales, lo que genera un mosaico heterogéneo que incrementa la fragmentación del paisaje (SEMARNAT, 2002).

Hacia el suroeste y sureste se distribuyen fragmentos de matorral, representados en color beige, que corresponden a ecosistemas xerófilos dominados por especies como gobernadora y cactáceas. Estas áreas son indicativas de ambientes más áridos y vulnerables frente a procesos de desertificación, asociados al cambio de uso del suelo y a la sobreexplotación

de recursos naturales. La persistencia del matorral en la periferia urbana y agrícola refleja la resistencia de estos ecosistemas frente a la expansión antrópica, aunque su superficie ha disminuido históricamente por la conversión hacia usos productivos (INEGI, 2001; López-Teloxa y Monterroso-Rivas, 2024).

Figura 2.

Uso del suelo en la ciudad de Navojoa, Sonora 2001



Nota: Elaboración propia en QGIS 3.18

En menor proporción, se observan parches de pastizal, localizados principalmente en áreas planas del sur y representados en color amarillo. Estos espacios son utilizados para ganadería extensiva, aunque su cobertura ha disminuido por la expansión agrícola y urbana. La presencia del pastizal en el paisaje de Navojoa indica la coexistencia de actividades productivas diversificadas, donde la ganadería complementa la agricultura, pero también genera presión sobre los ecosistemas naturales y contribuye a la degradación del suelo (Velázquez et al., 2002).

La vegetación secundaria, representada en color verde oscuro, aparece en pequeñas manchas dispersas, resultado de procesos de regeneración en terrenos previamente desmontados. Este patrón refleja dinámicas de recuperación ecológica, aunque limitada por la presión de actividades

humanas y la falta de políticas de restauración ambiental. La vegetación secundaria cumple un papel importante en la conectividad ecológica, pero su fragmentación reduce la capacidad de los ecosistemas para mantener funciones esenciales como la regulación hídrica y la biodiversidad (SEMARNAT, 2002).

Además de estas categorías principales, el mapa evidencia la existencia de zonas de transición entre agricultura y vegetación natural, donde se desarrollan prácticas mixtas que incrementan la fragmentación del paisaje. Estas áreas son críticas para la conectividad ecológica y requieren estrategias de manejo sustentable que permitan equilibrar la producción agrícola con la conservación de los recursos naturales. La presencia de estas zonas intermedias indica la complejidad del territorio y la necesidad de políticas integrales para su gestión (INEGI, 2001).

Finalmente, se identifican corredores lineales asociados a infraestructura vial, que conectan el núcleo urbano con localidades periféricas y áreas agrícolas. Estos corredores han impulsado la expansión urbana hacia el sur y el oriente, generando un patrón de crecimiento lineal que condiciona la distribución futura del uso del suelo. La influencia de la infraestructura en la configuración territorial de Navojoa es evidente, ya que actúa como factor determinante en la localización de nuevas áreas residenciales y productivas (CONAPO, 2025).

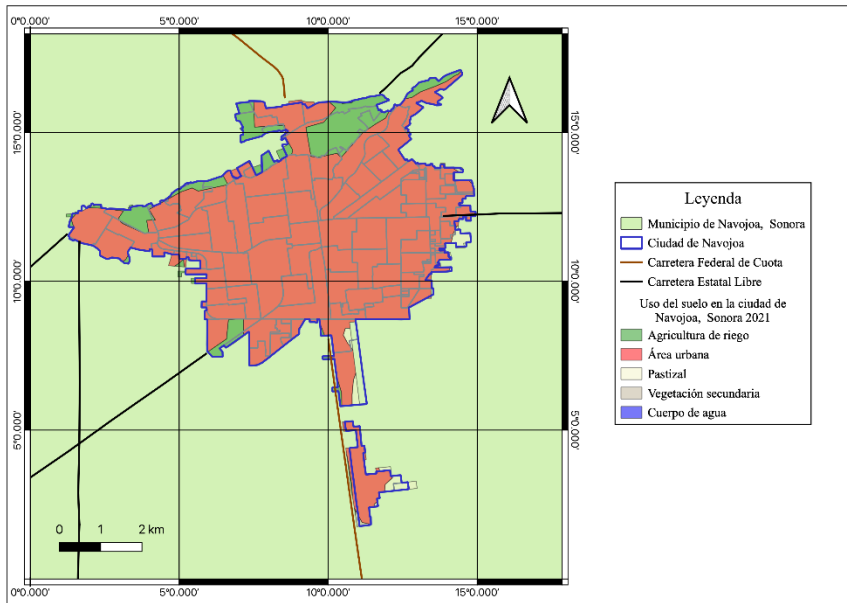
En conjunto, la configuración territorial de Navojoa en 2001 refleja una interacción compleja entre urbanización, agricultura intensiva y remanentes de vegetación natural, lo que plantea retos para la planificación y conservación del paisaje regional. Estos patrones evidencian la necesidad de estrategias que integren el desarrollo urbano con la protección de los ecosistemas, considerando la importancia de mantener la funcionalidad ecológica y la resiliencia del territorio frente a procesos de cambio global (Velázquez et al., 2002; SEMARNAT, 2002).

La figura 3 del año 2021 evidencia una expansión urbana muy marcada: el área urbana (en rojo) forma un continuo compacto que ocupa la mayor parte del polígono de la ciudad mostrado, con prolongaciones hacia el sur y el oriente, y bordes regulares que delatan procesos de consolidación y relleno sobre el tejido existente. Este patrón sugiere que entre 2001 y 2021 la ciudad atravesó una fase de crecimiento extensivo acompañada de densificación moderada en su perímetro inmediato, coherente con las trayectorias de urbanización observadas en numerosas ciudades mexicanas medianas (CONAPO, 2025). En términos funcionales, la morfología

resultante apunta a una mayor integración de barrios periféricos con la trama central y una presión sostenida sobre suelos anteriormente agrícolas o con vegetación secundaria, un fenómeno ampliamente documentado por las series cartográficas de uso del suelo del INEGI y por evaluaciones nacionales del cambio de cobertura (INEGI, 2001; López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024).

Figura 3.

Uso del suelo en la ciudad de Navojoa, Sonora 2021



Nota: Elaboración propia en QGIS 3.18.

La agricultura de riego (en verde claro) aparece en 2021 significativamente reducida y fragmentada en la periferia norte y nororiente del continuo urbano, lo que sugiere una conversión de parcelas irrigadas a usos urbanos, particularmente residenciales y de equipamiento. Este retroceso espacial se alinea con tendencias nacionales en las que la expansión de asentamientos trae consigo la pérdida de superficies agrícolas cercanas a los núcleos urbanos, fenómeno que la literatura de cambio de uso de suelo vincula con la accesibilidad, la valorización del suelo y la reconfiguración del mercado inmobiliario (Velázquez et al., 2002; López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024).

En el contexto regional, los valles con infraestructura hidráulica suelen sostener agricultura intensiva; sin embargo, la presión urbana conlleva una fragmentación del mosaico productivo y la aparición de bordes de conflicto entre actividades primarias y usos residenciales (INEGI, 2001; SEMARNAT, 2002). La persistencia de islotes agrícolas indica resiliencia de ciertos enclaves, aunque crecientemente encapsulados por el frente urbano, con posibles efectos sobre la eficiencia de riego, el acceso a caminos parcelarios y la compatibilidad de usos.

El mapa de 2021 registra parches de vegetación secundaria (en verde oscuro) de extensión menor y distribución discontinua, principalmente en intersticios periurbanos y algunos enclaves periféricos. Estas manchas suelen ser remanentes de coberturas naturales o áreas en regeneración tras desmontes o ceses de actividad agrícola, y funcionan como elementos de conectividad ecológica a pequeña escala. La literatura nacional destaca que, aunque la vegetación secundaria puede aportar servicios ecosistémicos como regulación hídrica local y hábitat su capacidad es limitada cuando se encuentra altamente fragmentada y sometida a presiones antrópicas (SEMARNAT, 2002; INEGI, 2001).

En términos urbanos, estos espacios tienden a ser vistos como reservas de suelo para futuros desarrollos, de modo que su permanencia suele ser transitoria si no existen instrumentos de planificación que protejan corredores verdes y establezcan criterios de compatibilidad (CONAPO, 2025; López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024). Su ubicación periférica sugiere también oportunidades para infraestructura verde que mitigue islas de calor y apoye drenaje urbano sostenible.

Respecto a los cuerpos de agua (en azul), el mapa indica una presencia muy limitada y puntiforme en 2021, propia de un entorno donde el régimen hídrico está dominado por infraestructura de riego y cauces regulados. En el contexto nacional, los sistemas de riego han sido fundamentales para sostener agricultura intensiva en zonas semiáridas; sin embargo, la urbanización contigua puede generar presiones adicionales sobre la calidad del agua, la gestión de escurrimientos y la seguridad hidráulica (SEMARNAT, 2002; INEGI, 2001).

La reducción de superficies agrícolas y el avance urbano suelen modificar patrones de impermeabilización y escorrentía locales, con riesgos de inundación en sectores donde el drenaje no se adapta al nuevo grado de cobertura (CONAPO, 2025; Velázquez et al., 2002). En este sentido, los cuerpos de agua remanentes y canales asociados al riego representan

infraestructura crítica cuya compatibilidad con la expansión urbana requiere criterios técnicos de amortiguamiento, control de vertidos y conservación de bordes vegetados.

Aunque el mapa 2021 no representa explícitamente matorral ni mezquital como categorías diferenciadas, la desaparición cartográfica de estas coberturas en el ámbito mostrado es, en sí misma, un resultado relevante. La literatura sobre cambio de uso del suelo señala que los paisajes semiáridos del noroeste del país, dominados por matorral xerófilo y mezquital, han sido históricamente sustituidos por agricultura de riego y, posteriormente, por usos urbanos, en una secuencia de transición que incrementa la homogeneización del territorio y reduce la diversidad estructural del paisaje (SEMARNAT, 2002; Velázquez et al., 2002). Este proceso, observado a escala nacional y medido por las series del INEGI, conlleva impactos acumulativos sobre ciclos biogeoquímicos, biodiversidad y resiliencia frente a eventos extremos (INEGI, 2001; López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024). En términos locales, la consolidación de la mancha urbana de Navojoa en 2021 sugiere que gran parte de ese gradiente natural-agrícola se ha desplazado hacia afuera del perímetro urbano, dejando relictos mínimos en la ventana cartográfica analizada.

En conjunto, el patrón 2021 muestra una ciudad predominantemente urbana, con islotes agrícolas y vegetación secundaria confinados a bordes perimetrales y cuerpos de agua escasos, lo que perfila un territorio con alta presión antrópica y retos para la gestión integrada del suelo. La evolución es consistente con los diagnósticos recientes de expansión de ciudades mexicanas, donde el consumo de suelo urbano avanza sobre suelos productivos y ecosistemas remanentes (CONAPO, 2025), y con los análisis de intensidad de cambio que registran transiciones aceleradas entre categorías (López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024). Para la planificación, estos resultados subrayan la urgencia de instrumentos municipales y regionales que ordenen el crecimiento, preserven corredores ecológicos, protejan infraestructura hidráulica y fomenten un equilibrio entre desarrollo urbano y la funcionalidad ecosistémica (INEGI, 2001; SEMARNAT, 2002).

La figura 4 para los años 2001-2021 muestra una transición dominante hacia el uso urbano, con un frente de expansión que convirtió extensas superficies previamente agrícolas o con vegetación secundaria en área urbana continua. La mancha roja del mapa evidencia un proceso de consolidación y relleno sobre el tejido construido, acompañado de prolongaciones lineales hacia el sur y el oriente, coherentes con la estructura vial principal y la accesibilidad a equipamientos.

En la periferia, los polígonos que pasan de agricultura de riego a área urbana revelan la secuencia típica de conversión que las series cartográficas nacionales han documentado para ciudades medianas: primero la intensificación agrícola sustentada en riego; después, la urbanización por presión demográfica y valorización del suelo (INEGI, 2001; Velázquez et al., 2002). Esta tendencia se alinea con diagnósticos recientes de expansión de ciudades en México, donde el crecimiento urbano consume suelo productivo y simplifica el mosaico ecológico (CONAPO, 2025; López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024). En conjunto, el patrón observado sugiere una metropolización local en torno a Navojoa, con impactos en movilidad, drenaje y servicios públicos que requieren gestión integrada del territorio.

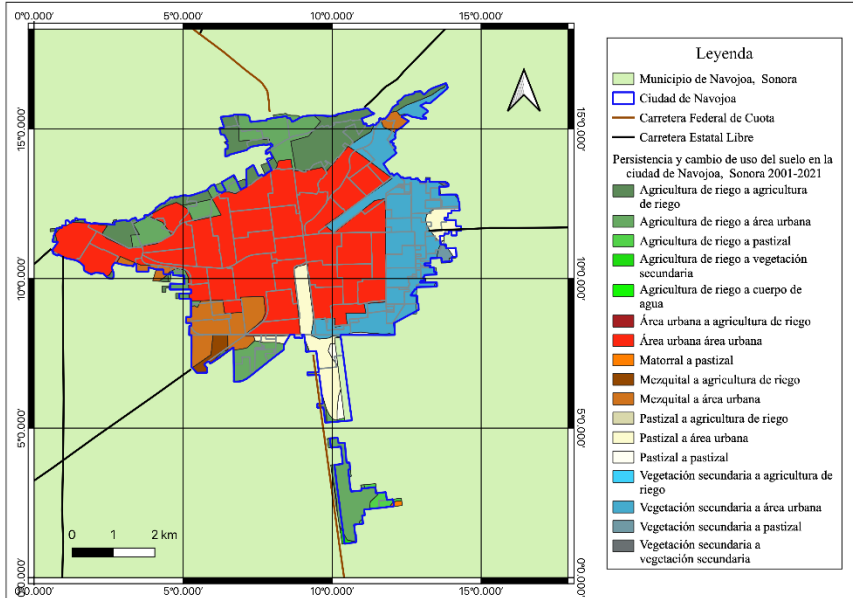
La segunda trayectoria relevante es la fragmentación y retroceso de la agricultura de riego, visible en las transiciones que van de agricultura de riego a vegetación secundaria, agricultura de riego a pastizal, o directamente a área urbana. Estas conversiones expresan, por un lado, abandono o reconversión de parcelas ante la presión inmobiliaria y, por otro, cambios en la eficiencia del riego y en la competitividad de cultivos intensivos. La literatura nacional sobre cambio de cobertura vincula estos procesos con variaciones en acceso a agua, costos de producción y cercanía a mercados urbanos, elementos que reconfiguran el balance entre actividades primarias y usos urbanos en regiones semiáridas (SEMARNAT, 2002; INEGI, 2001).

Al mismo tiempo, estudios de intensidad de cambio señalan que la transición agricultura a urbano es una de las más rápidas y permanentes, y que, una vez iniciada, rara vez se revierte, lo cual acentúa la irreversibilidad del consumo de suelo agrícola (López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024; Velázquez et al., 2002). En el mapa, los islotes verdes que persisten quedan encapsulados por el crecimiento urbano, con efectos sobre accesos parcelarios, compatibilidad de usos y conflictos difusos por ruido, polvo y escurrimientos.

Un tercer conjunto de cambios involucra la vegetación secundaria y el pastizal, que aparecen como coberturas intermedias en la trayectoria de transformación del paisaje. Los polígonos que transitan de vegetación secundaria a área urbana y de pastizal a área urbana describen bordes de expansión donde la ciudad avanza sobre espacios que ya habían perdido su vegetación primaria o fueron inducidos por manejo ganadero extensivo. Estos cambios tienden a reducir la conectividad ecológica, aumentar la impermeabilización y modificar los patrones de escorrentía locales,

incrementando la vulnerabilidad a inundaciones en zonas con drenaje insuficiente (SEMARNAT, 2002; CONAPO, 2025).

Figura 4.
Persistencia y cambio del suelo en la ciudad de Navojoa, Sonora 2001-2021



Nota: Elaboración propia en QGIS 3.18.

Asimismo, la desaparición de remanentes de matorral xerófilo/mezquital cuando existían en 2001 y su sustitución por vegetación secundaria o usos urbanos refleja la homogeneización del territorio y la pérdida de diversidad estructural del paisaje, con impactos acumulativos sobre ciclos biogeoquímicos y servicios ecosistémicos (INEGI, 2001; Velázquez et al., 2002). En términos de gestión, estos resultados subrayan la necesidad de corredores verdes y de estrategias de infraestructura verde para mitigar islas de calor y sostener funciones ecológicas básicas en la matriz urbana.

El cuarto grupo de cambios se relaciona con los cuerpos de agua y la infraestructura hidráulica asociada al riego. Aunque su representación espacial en el mapa es acotada, las transiciones que implican bordes de cuerpo de agua a área urbana o agricultura de riego a área urbana en su proximidad son críticas, pues la urbanización contigua puede comprometer calidad del agua, seguridad hidráulica y operación de canales y drenes. La evidencia nacional indica que la expansión urbana modifica la relación entre impermeabilización y escurrimiento, demandando rediseños del drenaje

pluvial y medidas de amortiguamiento (SEMARNAT, 2002; CONAPO, 2025).

En regiones de agricultura intensiva, la compatibilidad entre la traza urbana y la red de riego requiere criterios técnicos y zonas de protección para evitar colmatación, vertidos y ocupaciones irregulares de derechos de vía (INEGI, 2001; Velázquez et al., 2002). Por ello, los polígonos de cambio cercanos a canales deben ser prioritarios en la planificación, integrando soluciones basadas en la naturaleza y regulación de densidades.

Finalmente, el conjunto de transiciones múltiples perfila una secuencia temporal que confirma la hipótesis de gradientes de transformación: primero se desmonta y se induce un uso productivo; después, se urbaniza y se consolida la matriz construida. Esta secuencia, ampliamente descrita para México, acelera la pérdida de capital natural y dificulta la restauración posterior, dado que el cambio a uso urbano conlleva infraestructura rígida y marcos jurídicos que hacen poco probable el retorno a coberturas naturales (SEMARNAT, 2002; López Teloxa y Monterroso Rivas, 2024).

En Navojoa, el resultado agregado del periodo 2001-2021 con base a la tabla 2 y tabla 3, es un territorio más urbano, menos agrícola y con remanentes ecológicos fragmentados, lo que exige instrumentos de ordenamiento territorial y gestión del suelo que equilibren desarrollo y conservación, y que reconozcan explícitamente los costos ambientales de las transiciones observadas (CONAPO, 2025; INEGI, 2001). En esencia, el mapa no solo muestra dónde cambió el suelo, sino cómo se reorganizó el paisaje y qué compromisos demanda de la política pública.

Tabla 2.

Matriz de tabulación cruzada para la ciudad de Navojoa, Sonora

	Agricultura de riego	Zona urbana	Matorral	Mezquital	Pastizal	Vegetación secundaria	Cuerpo de agua	
	1	2	3	4	5	6	7	
Agricultura de riego	10	11	12	13	14	15	16	17
Zona urbana	20	21	22	23	24	25	26	27
Matorral	30	31	32	33	34	35	36	37

Mezquital	40	41	42	43	44	45	46	47
Pastizal	50	51	52	53	54	55	56	57
Vegetación secundaria	60	61	62	63	64	65	66	67
Cuerpo de agua	70	71	72	73	74	75	76	77

Nota: Elaboración propia.

Tabla 3.

Matriz de tabulación cruzada para el cambio de uso de suelo en la ciudad de Navojoa, Sonora del año 2001 al 2021 en hectáreas

	Agricultura de riego	Zona urbana	Matorral	Mezquital	Pastizal	Vegetación secundaria	Cuerpo de agua	Total 2001	Pérdidas
	1	2	3	4	5	6	7		
Agricultura de riego	10 388.62	481.72	0	0	22.32	4.96	1.12	898.77	510.14
Zona urbana	20 0.47	1978.56	0	0	0	0	0	1979.03	0.47
Matorral	30 0	0	0	0	3.29	0	0	3.29	3.29
Mezquital	40 32.03	249.49	0	0	0	0	0	281.52	281.52
Pastizal	50 0.12	223.69	0	0	19.74	0	0	243.56	223.81
Vegetación secundaria	60 0.30	684.34	0	0	13.99	2.64	0	701.28	698.64
Cuerpo de agua	70 0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Total 2021	421.56	3617.81	0.00	0.000	59.36	7.61	1.12	4107.47	
Ganancias	32.93	1639.25	0.00	0.000	39.61	4.96	1.12		

Nota: Elaboración propia con base en CONABIO 2001 y 2021.

Entre 2001 y 2021 con base a la tabla 4, la zona urbana de Navojoa se expandió con claridad, pasando de 1,979.035 ha a 3,617.819 ha, con una tasa anual promedio de 3.06%, lo que indica un proceso sostenido de urbanización en dos décadas. Paralelamente, la agricultura de riego se contrajo de 898.775 ha a 421.564 ha, evidenciando una disminución

persistente de superficies agrícolas intensivas. La cobertura de matorral (3.296 ha en 2001) y mezquital (281.523 ha en 2001) desapareció por completo en 2021 (-100% en ambos casos), un cambio categórico que sugiere sustitución de vegetación nativa por usos antrópicos. Se observa también una fuerte reducción del pastizal (de 243.562 a 59.362 ha, -6.82% anual) y de la vegetación secundaria (de 701.287 a 7.610 ha, -20.24% anual), categorías que suelen comportarse como zonas de transición especialmente vulnerables a la expansión urbana. Finalmente, emergen cuerpos de agua (de 0 a 1.124 ha), lo que podría asociarse a nuevas infraestructuras hidráulicas o permanencia de láminas de agua en áreas artificiales.

Tabla 4.

Tasa de cambio de los usos del suelo en la ciudad de Navojoa, Sonora

Categorías	Superficie en ha. 2001	Superficie en ha. 2021	Tasa cambio anual promedio
Agricultura de riego	898.775	421.564	-3.714558385
Zona urbana	1979.035	3617.819	3.06226151
Matorral	3.296	0	-100
Mezquital	281.523	0	-100
Pastizal	243.562	59.362	-6.815227418
Vegetación secundaria	701.287	7.610	-20.24196542
Cuerpo de agua	0.000	1.124	0

Nota: Elaboración propia con base en CONABIO 2001 y 2021.

En términos de dinámica territorial, el patrón observado es consistente con una reconfiguración estructural del paisaje: la expansión urbana parece haberse realizado a costa de mosaicos de vegetación secundaria y pastizales, mientras la desaparición del matorral y el mezquital apunta a pérdida de coberturas xerófitas y su fragmentación hacia usos urbanos o agrícolas más intensivos. Estos resultados sustentan implicaciones de política pública: necesidad de planeación urbana compacta, delimitación de amortiguamientos ecológicos, y gestión hídrica que anticipe los efectos de nuevas superficies acuáticas sobre el balance territorial.

La tabla 5 de valores de transición muestra una expansión urbana contundente en Navojoa: la categoría zona urbana registra ganancias de 1,639.25 ha, pérdidas de 0.47 ha, intercambio de 0.95 ha y un cambio total de 1,639.73 ha (con diferencia entre 2001 y 2021 de +1,638.78 ha). En contraste, la agricultura de riego evidencia una contracción neta: pérdidas de 510.14 ha, ganancias de 32.93 ha, intercambio de 65.87 ha, y cambio total de 543.08 ha (diferencia-77.21 ha).

Tabla 5.

Valores de transición entre categorías en hectáreas en la ciudad de Navojoa, Sonora.

Categorías	Superficie 2001	Superficie 2021	Diferencia 2001-2021	Ganancias	Pérdidas	Intercambio	Cambio neto	Cambio total
Agricultura de riego	898.77	421.56	-477.21	32.93	510.14	65.87	477.21	543.08
Zona urbana	1979.03	3617.81	1638.78	1639.25	0.47	0.95	1638.78	1639.73
Matorral	3.29	0	-3.29	0	3.29	0	3.29	3.29
Mezquital	281.52	0	-281.52	0	281.52	0	281.52	281.52
Pastizal	243.56	59.36	-184.20	39.61	223.81	79.23	184.20	263.43
Vegetación secundaria	701.28	7.61	-693.67	4.96	698.64	9.93	693.67	703.61
Cuerpo de agua	0.00	1.12	1.12	1.12	0.00	0.00	-1.12	1.12

Nota: Elaboración propia con base en CONABIO 2001 y 2021.

Las coberturas vegetación secundaria y pastizal también disminuyen con fuerza; la primera acumula pérdidas de 698.64 ha y la segunda pérdida de 223.81 ha. Las categorías matorral y mezquital muestran pérdida completa, mientras que la categoría cuerpo de agua emerge con ganancias de 1.12 ha y pérdidas nulas. Desde una lectura de geografía regional, el patrón refleja un proceso de urbanización principalmente unidireccional, acompañado por una desestructuración del mosaico agro-pastoril y de coberturas secundarias, donde el intercambio es mayor, señal de transiciones bidireccionales antes de estabilizarse como pérdida neta.

Con base a la tabla 6 de transiciones sistémicas revela que la zona urbana no solo creció en superficie, sino que lo hizo con una marcada preferencia por ciertas categorías. Las ganancias observadas (Go) más altas provienen de vegetación secundaria y pastizal, seguidas por mezquital y agricultura de riego. Al comparar con las ganancias esperadas (Ge) bajo un modelo aleatorio, se aprecia que la urbanización absorbió más superficie de

vegetación secundaria y pastizal de lo previsto, mientras que la agricultura de riego aportó menos de lo esperado. El indicador (Go-Ge)/Ge, que mide la intensidad relativa de la transición, confirma esta tendencia: vegetación secundaria (0.267) y pastizal (0.193) son las más favorecidas por la expansión urbana, seguidas por mezquital (0.151), mientras que la agricultura presenta un valor negativo (-0.304), señal de menor conversión urbana respecto a lo esperado.

Tabla 6.

Transiciones sistémicas para la zona urbana

Categoría	Ganancia observada	Ganancia esperada	Diferencia Go-ge	Tasas (go-ge)/ge
Agricultura de riego	481.72	692.20	-210.478	-0.30
Matorral	0	2.53	-2.538	-1
Mezquital	249.49	216.82	32.670	0.15
Pastizal	223.69	187.58	36.111	0.19
Vegetación secundaria	684.34	540.11	144.236	0.26
Cuerpo de agua	0	0	0.000	0

Nota: Elaboración propia con base en CONABIO 2001 y 2021.

Estos resultados sugieren que la urbanización en Navojoa se orientó hacia áreas de vegetación secundaria y pastizales, que funcionan como espacios de transición y son más vulnerables a la presión urbana, en lugar de ocupar proporcionalmente las áreas agrícolas. Esto implica un patrón de crecimiento que prioriza zonas con menor resistencia productiva y ecológica, lo que puede acelerar procesos de fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad biológica. La diferencia negativa en agricultura indica que, aunque hubo conversión, esta fue menor a la esperada, posiblemente por la persistencia de actividades agrícolas en áreas estratégicas. Estos hallazgos son clave para diseñar políticas de ordenamiento territorial que consideren la protección de coberturas secundarias y la gestión de corredores ecológicos.

CONCLUSIONES

El análisis multitemporal realizado sobre la expansión urbana en Navojoa entre 2001 y 2021 confirma un proceso acelerado y sostenido de urbanización que ha transformado de manera profunda la estructura territorial de la ciudad. La superficie urbana prácticamente se duplicó en dos décadas, pasando de 1,979 ha a más de 3,600 ha, lo que refleja una dinámica de crecimiento extensivo y consolidación que responde a presiones demográficas, económicas y de infraestructura. Este patrón no solo implica un cambio cuantitativo en la ocupación del suelo, sino también una reorganización funcional del paisaje, donde la matriz natural y agroproductiva ha cedido espacio a la mancha urbana.

Los resultados evidencian una pérdida significativa de coberturas vegetales y agrícolas, con tasas de cambio negativas que alcanzan valores críticos en categorías como vegetación secundaria y pastizal, además de la desaparición total del matorral y el mezquital. Estas transiciones no son aleatorias: la urbanización se orientó preferentemente hacia áreas de vegetación secundaria y pastizales, que funcionan como zonas de amortiguamiento y presentan menor resistencia productiva, lo que acelera la fragmentación del paisaje y la pérdida de conectividad ecológica. Este hallazgo es consistente con la hipótesis planteada y subraya la vulnerabilidad de los ecosistemas intermedios frente a la presión urbana.

La contracción de la agricultura de riego, aunque menos intensa que la de las coberturas naturales, también es relevante: la reducción de más del 50% de su superficie indica una tendencia hacia la sustitución de usos productivos por usos residenciales y de equipamiento. Este fenómeno plantea implicaciones económicas y sociales, dado que la agricultura irrigada constituye un pilar en la economía regional y su retroceso puede afectar la seguridad alimentaria y la competitividad agroindustrial. Además, la coexistencia de islotes agrícolas encapsulados por la trama urbana genera conflictos difusos en términos de accesibilidad, compatibilidad de usos y gestión de recursos hídricos.

Desde una perspectiva ecológica, la desaparición de coberturas xerófitas como el matorral y el mezquital representa una pérdida irreversible de capital natural, con impactos acumulativos sobre los ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad y la resiliencia frente a eventos extremos. La homogeneización del territorio y la impermeabilización creciente incrementan riesgos asociados a la escorrentía, la calidad del agua y la formación de islas de calor, lo que demanda soluciones basadas en la

naturaleza y estrategias de infraestructura verde para mitigar efectos adversos en la matriz urbana.

En términos de política pública, los hallazgos de este estudio subrayan la urgencia de instrumentos de ordenamiento territorial que integren criterios de sustentabilidad en la planificación urbana. La expansión observada no solo compromete la funcionalidad ecológica del territorio, sino que también tensiona la infraestructura hidráulica y los servicios urbanos, lo que exige enfoques de gestión integrada que consideren la protección de corredores verdes, la regulación de densidades y la compatibilidad entre la traza urbana y la red de riego. La evidencia empírica aquí presentada constituye un insumo clave para la formulación de políticas que equilibren desarrollo y conservación.

Finalmente, este trabajo aporta una lectura crítica sobre la relación entre crecimiento urbano y degradación ecológica en ciudades medianas del noroeste de México, mostrando que la urbanización descontrolada no es solo un fenómeno espacial, sino un proceso sistémico que redefine las interacciones entre sociedad y naturaleza. La experiencia de Navojoa ilustra la necesidad de transitar hacia modelos de desarrollo urbano compacto, resiliente y ambientalmente responsable, en consonancia con los objetivos de la Agenda 2030. Solo así será posible garantizar la habitabilidad futura y la integridad ecológica de territorios que hoy enfrentan presiones sin precedentes.

LITERATURA CITADA

- Angel, S., Arcia, D., Sordi, J., De Souza Campos Paiva, J., Serra, O., Vera, F., De Christo, P. H., Furtado, M., Herrera Montes, S., Hobbs, J., Lee, H., Maleronka, C., Martinez, P., Olivares, D., Park, H. J., Romero Lopez, T., y Santamaria, M. (2025). *Accommodating urban growth in Latin American and Caribbean cities*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0013550>
- Areu-Rangel, O. S., Hernández-Hernández, M. Á., y Bonasia, R. (2024). Land-use-change-driven erosion and sediment transport in the Yaqui River sub-basin (Mexico): Insights from satellite imagery and hydraulic simulations. *Land*, 13(11), 1846. <https://doi.org/10.3390/land13111846>
- Ayuntamiento de Navojoa. (2024). *Síntesis ejecutiva. Programa Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Navojoa, Sonora*. Gobierno Municipal de Navojoa. chrome-extension://efaidnbmnmbpcajpcglclefindmkaj/https://www.navoj

oa.gob.mx/2024/IMPLAN/PMDU/VERSI%C3%93N%20ABREV
IADA%20(S%C3%ADntesis%20Ejecutiva_PMDU%20Navojoa).
pdf

- Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., y Tait, A. M. (2022). Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9, 251. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2021). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional). Catálogo de metadatos geográficos*. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250ks2gw
- Comisión Nacional de Población [CONAPO]. (2025). *Expansión de las ciudades de México: Análisis de uso de suelo y vegetación, 1985, 2002 y 2018*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/expansion-de-las-ciudades-de-mexico-analisis-de-uso-de-suelo-y-vegetacion-1985-2002-y-2018>
- Hou, H., Zhou, B.-B., Pei, F., Hu, G., Su, Z., Zeng, Y., Zhang, H., Gao, Y., Luo, M., y Li, X. (2022). Future land use/land cover change has nontrivial and potentially dominant impact on global gross primary productivity. *Earth's Future*, 10, e2021EF002628. <https://doi.org/10.1029/2021EF002628>
- Hou, Y., Kuang, W., y Dou, Y. (2023). Observing the compact trend of urban expansion patterns in global megacities during 2000–2020. *Journal of Geographical Sciences*, 33, 2359–2376. <https://doi.org/10.1007/s11442-023-2180-0>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2001). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, Serie II*. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw
- Krause, A., Papastefanou, P., Gregor, K., Layritz, L. S., Zang, C. S., Buras, A., Li, X., Xiao, J., y Rammig, A. (2022). Quantifying the impacts of land cover change on gross primary productivity globally. *Scientific Reports*, 12, 19130. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23120-0>
- López, V. y Plata, W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000, Investigaciones Geográficas,

- Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, (68): 85-101. <https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/18000/17141>
- López Teloxa, L., y Monterroso Rivas, A. (2024). Intensidad en los cambios de uso de suelo en México (2001-2018). *Investigaciones Geográficas*, (115), 1–20. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112024000300107
- Pandey, B., y Ghosh, A. (2023). Urban ecosystem services and climate change: A dynamic interplay. *Frontiers in Sustainable Cities*, 5, 1281430. <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1281430>
- Pontius, R. G., Shusas, E., y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X.-P., Baggett, A., y Kommareddy, I. (2022). The global 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: First results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
- Sánchez-Duarte, N. E., Bracamontes-Nevárez, J., y Álvarez-Chávez, C. R. (2020). *El desarrollo socioeconómico y sustentabilidad ambiental en municipios urbanos de la Región Noroeste, México*. Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 30(55), e20868. <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.868>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2002). *Informe del medio ambiente: La vegetación natural y el uso del suelo en México*. Gobierno de México. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap2.html>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2002). *La vegetación natural y el uso del suelo en México*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen/02_vegetacion/cap2.html
- Tesfaye, W., Elias, E., Warkineh, B., Tekalign, M., y Abebe, G. (2024). Modeling of land use and land cover changes using Google Earth Engine and machine learning approach: Implications for landscape management. *Environmental Systems Research*, 13, 31. <https://doi.org/10.1186/s40068-024-00366-3>

- United Nations, Statistics Division. (2024). *The Sustainable Development Goals-Extended Report 2024: Goal 15 (Life on land)*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/extended-report/Extended-Report-Goal-15.pdf>
- UN-Habitat. (2024). *Urban regeneration for localizing the Sustainable Development Goals*. United Nations Human Settlements Programme. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/05/ur_-_paper_22052024.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/05/ur_-_paper_22052024.pdf)
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz Gallegos, J., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., y Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, (62), 21-37. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf)
- Zhang, X., Zhao, T., Xu, H., Liu, W., Wang, J., Chen, X., y Liu, L. (2024). GLC_FCS30D: The first global 30 m land-cover dynamics monitoring product (1985–2022) generated using dense-time-series Landsat imagery and the continuous change-detection method. *Earth System Science Data*, 16, 1353–1381. <https://doi.org/10.5194/essd-16-1353-2024>

SINTESIS CURRICULAR

Francisco Humberto Valdez-Sandoval

Licenciado en Relaciones Comerciales Internacionales por la Unidad Académica de Negocios de la Universidad Autónoma de Sinaloa, especialista en Planificación y gestión estratégica territorial por el Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES/CEPAL), Maestro en Ciencias Sociales con Énfasis en Estudios Regionales por la Facultad de Ciencias Sociales de la UAS y Doctor en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México, certificado en Entrepreneurship and Small Business, docente en la Universidad Autónoma de Sinaloa y profesor invitado en la Universidad Tecnológica de Escuinapa y el Instituto Tecnológico de Sonora, y especializado en temas relacionados con el desarrollo regional y la geografía económica. Correo electrónico: valdez.sandoval@uas.edu.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1570-525X>

Aniela Guadalupe Valdez-Sandoval

Licenciada en Relaciones comerciales Internacionales por la Unidad Académica de Negocios de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Maestra en Ingeniería en Logística y Calidad por el Instituto Tecnológico de Sonora, Campus Navojoa, Doctorante en Economía y Negocios Internacionales por la Universidad Autónoma Indígena de México. Profesora en el Instituto Tecnológico de Sonora campus Navojoa. Responsable del área de análisis de datos, proyectos de inversión y logística. Se ha especializado en temas relacionados con economía, logística y comercio exterior, y se ha desempeñado como instructora invitada en el Instituto Politécnico Nacional. Correo electrónico: aniela.valdez209037@potros.itson.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8375-3843>

Allán Chacara-Montes

Ingeniero Industrial y de Sistemas por el Instituto Tecnológico de Sonora, campus Navojoa. Maestro en Ingeniería en Logística y Calidad por el Instituto Tecnológico de Sonora, campus Navojoa, y Maestro en Educación Campo Formación Docente por la Universidad Pedagógica Nacional, campus Hermosillo, Sonora. Doctor en Proyectos, con línea de investigación en Gestión Organizacional, por el Centro Panamericano de Estudios Superiores, en Morelia, Michoacán. Cuenta con certificación en Lean Manufacturing para la mejora continua de procesos por CONOCER, así como con certificación como Black Belt. Actualmente se desempeña como responsable del Programa Educativo de Ingeniería Industrial y de Sistemas y responsable del Posgrado en Ingeniería en Logística y Calidad. Es colaborador del Cuerpo Académico “Desarrollo Competitivo de las Organizaciones”, con grado en consolidación, y cuenta con el reconocimiento como Candidato al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Correo electrónico: allan.chacara@potros.itson.edu.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0567-0017>