


Artículo de investigación

2027 Enero - Junio

 English version

Análisis multitemporal del crecimiento edificado y su impacto en la cobertura y uso de suelo

Multitemporal analysis of urban built-up growth and its impact on land cover and land use dynamics

DOUGLAS GABRIEL PICHUCHO MORALES 

 Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador
 doug.0810@hotmail.com

RESUMEN Las ciudades intermedias latinoamericanas enfrentan procesos acelerados de expansión urbana que transforman la cobertura y uso del suelo. Este estudio analiza la dinámica espacio-temporal del crecimiento edificado en (Ecuador) durante el periodo 1998-2024. Para ello, se procesaron imágenes de satélite (Landsat Collection 2 Surface Reflectance) aplicando el algoritmo de Máxima Verosimilitud (*Maximum Likelihood*). Se aplicó comparación posclasificación, matrices de transición y evaluación de exactitud mediante matrices de confusión. Los resultados muestran que la clase edificado/impermeable aumentó de 1012,05 ha en 1998 a 2027,34 ha en 2024, mientras que la vegetación y el suelo desnudo/transición disminuyeron. Las clasificaciones alcanzaron exactitudes globales entre 84,50 % y 87,00 %, con coeficientes Kappa de 0,773 a 0,823. El indicador ODS 11.3.1 mostró que el consumo de suelo fue proporcionalmente superior al crecimiento poblacional urbano. Estos descubrimientos suministran sustento empírico para comprender la transición del territorio. Dicha información resulta fundamental en la definición de estrategias para la planeación del territorio, permitiendo una regulación más precisa de los límites de expansión, promoviendo el aprovechamiento del suelo bajo criterios de sostenibilidad.

ABSTRACT Intermediate Latin American cities are facing accelerated urban expansion processes that reshape land cover and land use. This study analyzes the spatio-temporal dynamics of built-up growth in Portoviejo, Ecuador, during the 1998–2024 period. For this purpose, Landsat Collection 2 Surface Reflectance satellite imagery was processed using the Maximum Likelihood classification algorithm. Post-classification comparison, transition matrices, and accuracy assessment based on confusion matrices were applied. The results show that the built-up/impermeable class increased from 1,012.05 ha in 1998 to 2,027.34 ha in 2024, while vegetation and bare/transitional soil decreased. The classifications reached Overall Accuracy values between 84.50% and 87.00%, with Kappa coefficients ranging from 0.773 to 0.823. The SDG 11.3.1 indicator showed that land consumption was proportionally higher than urban population growth. These findings provide empirical support for understanding territorial transition processes. This information is relevant for defining territorial planning strategies, enabling more precise regulation of urban expansion limits and promoting land use under sustainability criteria.

PALABRAS CLAVE ciudades intermedias, expansión urbana, cambio de cobertura y uso del suelo, análisis multitemporal, teledetección

KEYWORDS intermediate cities, urban expansion, land use and land cover change, multitemporal analysis, remote sensing

Recibido: 01/10/2025
 Revisado: 08/05/2026
 Aceptado: 26/05/2026
 Publicado: 08/09/2026



Cómo citar este artículo/How to cite this article: Pichucho Morales, D. (2027), Análisis multitemporal del crecimiento edificado y su impacto en la cobertura y uso de suelo. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 16(31), e6323. <https://doi.org/10.18537/est.v016.n031.a05>

1. Introducción

El crecimiento urbano constituye uno de los procesos territoriales más relevantes en la actualidad, debido a su impacto en la organización del espacio y en la transformación de la superficie terrestre. A escala global, se ha documentado que las ciudades continúan expandiéndose, donde cerca del 32% de la superficie del planeta experimentó transformaciones, que derivan en cambios significativos en la cobertura y el uso del suelo, lo que plantea desafíos para la planificación y gestión sostenible del territorio (Winkler et al., 2021). En este contexto, la expansión urbana no siempre se desarrolla en proporción directa al crecimiento poblacional. La evidencia científica subraya que la expansión de las superficies urbanizadas suele superar significativamente al crecimiento demográfico. Este fenómeno, analizado mediante indicadores que vinculan el consumo de suelo con la dinámica poblacional, deriva en modelos de ocupación territorial ineficientes que desafían la sostenibilidad urbana a escala global y regional (Estoque et al., 2021; Zhou et al., 2021).

La región latinoamericana es actualmente una de las más urbanizadas del mundo, con una tasa cercana al 81%, la distribución poblacional refleja una consolidación del entorno urbano como espacio predominante. Si bien el dinamismo migratorio y el crecimiento físico acelerado han reconfigurado el mapa regional, esta expansión ha ocurrido a costa del déficit de servicios básicos. Ante este escenario, la gestión del territorio ya no puede ser inercial; demanda modelos que prioricen la equidad y la capacidad adaptativa de las comunidades (UN-Habitat, 2022). Frente a esta realidad, las ciudades intermedias han adquirido un papel cada vez más relevante en la estructura urbana. No solo concentran dinámicas de crecimiento, sino que también cumplen funciones de articulación territorial que antes se atribuían principalmente a grandes áreas metropolitanas (Boly y Kern, 2019; Cattaneo et al., 2024).



Figura 1: Ubicación geográfica de la ciudad de Portoviejo en América del Sur, Ecuador y la provincia de Manabí. (2025)

La evidencia regional muestra que la expansión urbana suele avanzar hacia bordes periféricos y franjas urbano-rurales. En Chile, este crecimiento se ha vinculado con procesos de segregación socioespacial y proyectos residenciales en periferias de baja consolidación (Schuster-Olbrich et al., 2024).

En Brasil, se observa cómo la expansión metropolitana responde a una lógica de producción inmobiliaria en áreas periféricas, orquestada por la simbiosis entre el capital financiero y el sector constructor (Cruz, 2016). De manera similar en Argentina, se ha documentado la conversión de tierras agrícolas hacia usos urbanos, con efectos directos sobre los sistemas territoriales locales (Cahe y Prada, 2022). Estos antecedentes permiten entender que la expansión urbana no es solo un aumento de superficie construida, sino una forma de reorganización del territorio.

Portoviejo como capital provincial de Manabí (Figura 1), ofrece un caso pertinente para analizar estas dinámicas en una ciudad intermedia ecuatoriana, puesto que concentra funciones administrativas, comerciales, financieras y de servicios, fortaleciendo su rol dentro de la estructura provincial (Valencia, 2022). La configuración urbana de Portoviejo ha transitado de un modelo compacto a uno difuso, impulsada por una débil gestión del suelo y una planificación que históricamente ha equiparado la extensión territorial con el progreso. Este proceso se vio drásticamente acelerada por el terremoto de 2016, que, al inhabilitar el casco central, forzó el desplazamiento de funciones administrativas y comerciales hacia las periferias, consolidando nuevas centralidades en ejes viales estratégicos (Cedeño Zambrano et al., 2020). En consecuencia, la ciudad ejerce una presión persistente sobre suelos de alto valor agrícola y áreas de protección natural, desdibujando el límite urbano-rural e intensificando la vulnerabilidad territorial ante la falta de herramientas técnicas que regulen esta expansión espontánea (Reyna et al., 2017).

En el caso local, Cedeño Zambrano et al. (2020) documentaron que entre 2001 y 2010 Portoviejo perdió 2083,5ha asociadas a deforestación, contaminación y conversión de tierras agrícolas en desarrollos urbanos. Por su parte, Saavedra (2020) identificó en Riochico, parroquia rural del cantón, procesos de parcelación no regulada y ocupación de suelos agrícolas transformando de forma progresiva del territorio. Estos antecedentes muestran que el crecimiento urbano de Portoviejo no responde únicamente al aumento de población, sino también a condiciones económicas, institucionales y territoriales que han orientado la ocupación del suelo.

Como consecuencia de estos procesos, el territorio urbano experimenta transformaciones que implican la sustitución de coberturas naturales y agrícolas por superficies edificadas. Este tipo de cambios ha sido

ampliamente estudiado mediante el análisis de uso y cobertura del suelo (Land Use/Land Cover, LULC), el cual identifica y cuantifica las transformaciones espaciales a lo largo del tiempo (Chughtai et al., 2021). El desarrollo de técnicas de teledetección ha fortalecido este tipo de análisis, facilitando el monitoreo multitemporal de la superficie terrestre mediante el uso de imágenes satelitales. En particular, los sensores Landsat han sido ampliamente utilizados debido a la disponibilidad de series temporales extensas y consistentes, que analizan cambios en periodos prolongados (Cheng et al., 2024).

Si bien la literatura reconoce las limitaciones asociadas a la resolución espacial y a la calidad de los datos disponibles, diversos estudios coinciden en que el uso de información geoespacial y de observación de la Tierra constituye una herramienta fundamental para el análisis de la expansión urbana y la evaluación de la eficiencia en el uso del suelo. Este enfoque resulta particularmente relevante en ciudades intermedias y secundarias de países en desarrollo, donde las carencias en sistemas de información territorial limitan el monitoreo sistemático de las dinámicas urbanas (Laituri et al., 2021; Mudau et al., 2020; Sondou et al., 2024).

Al analizar los estudios relacionados con el crecimiento urbano y el uso del suelo, en Portoviejo, se establece que estos han abordado aspectos parciales, como simulaciones o análisis sectoriales, sin integrar un enfoque multitemporal que evalúe la evolución del crecimiento edificado en periodos prolongados (Chun et al., 2023; Farías et al., 2025; Reyna et al., 2017). El presente estudio se centra en el polígono oficial definido por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GAD), que delimita la zona urbana de Portoviejo, con una superficie aproximada de 5084 hectáreas, circunscripción que responde al rol de Portoviejo como centro administrativo, económico y social de Manabí.

Aunque los estudios previos sobre Portoviejo, han aportado un panorama actual sobre expansión urbana y transformación territorial, sus enfoques se han centrado en análisis sectoriales, simulaciones o casos localizados, sin integrar una lectura multitemporal de las coberturas sustituidas, las áreas persistentes y su relación con la población. Ante lo expuesto, la investigación se pregunta: ¿cómo evolucionó el suelo edificado en Portoviejo entre 1998 y 2024, qué coberturas fueron transformadas y cómo se relaciona esta expansión con el crecimiento urbano? Se plantea como hipótesis que dicho crecimiento no respondió solo al aumento poblacional, sino a la conversión de coberturas no edificadas, la consolidación de áreas urbanas y un consumo de suelo no proporcional al crecimiento demográfico (Figura 2). El objetivo es analizar este proceso mediante teledetección, transiciones, persistencias, aportando criterios para la planificación local.

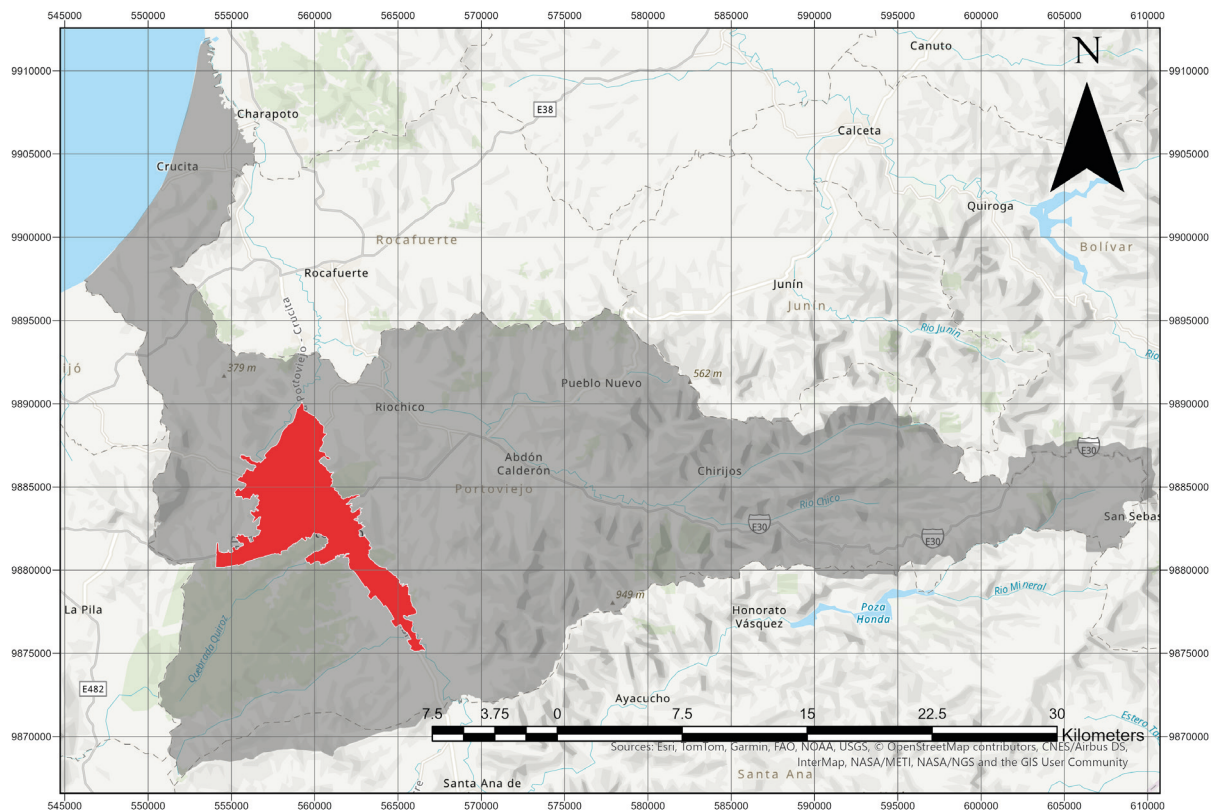


Figura 2: Delimitación del polígono urbano de Portoviejo. (2025)

2. Metodología

2.1. Diseño metodológico y área de estudio

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo y multitemporal, orientado a identificar los cambios de cobertura y uso del suelo asociados al crecimiento edificado de Portoviejo entre 1998 y 2024. El análisis se desarrolló a partir del polígono urbano oficial de Portoviejo, proporcionado por el GAD Municipal en formato shapefile vigente al año 2025. Esta delimitación permitió trabajar con un ámbito espacial institucionalmente reconocido y comparar, de manera consistente, las transformaciones territoriales ocurridas en el periodo de estudio. Todo el procesamiento espacial se realizó en ArcGIS Pro 3.4.0, empleando el sistema de referencia WGS 1984 UTM Zone 17S (EPSG:32717), con unidades en metros. Este sistema se mantuvo en las imágenes, capas vectoriales y productos derivados para asegurar coherencia geométrica en las etapas de clasificación, validación y análisis de cambios.

2.2. Selección y preprocesamiento de imágenes Landsat

Se utilizaron imágenes Landsat Collection 2 Level-2 Surface Reflectance (L2SP), descargadas desde USGS Earth Explorer. Los productos L2SP fueron seleccionados porque cumplen con requisitos geométricos y radiométricos específicos (Servicio Geológico de EE. UU., 2025). Las escenas correspondieron al Path/Row 011/061 y fueron adquiridas en fechas: 15 de marzo de 1998 (Landsat 5 TM), el 2 de agosto de 2014 (Landsat 8 OLI/TIRS) y el 29 de agosto de 2024 (Landsat 8 OLI/TIRS). Los metadatos reportan nubosidad para la escena completa; sin embargo, debido a que el área de estudio representa solo una fracción del Path/Row, se verificó visualmente que el polígono urbano de Portoviejo no presentara cobertura nubosa que afectara la clasificación.

Se emplearon las bandas espectrales 1–5 y 7 para Landsat 5 TM, y las bandas 2–7 para Landsat 8 OLI. Antes de la clasificación, las composiciones multispectrales fueron revisadas visualmente para verificar la ausencia de nubosidad local y de artefactos radiométricos relevantes, como bandeo o *striping*, dentro del área de estudio. Al no identificarse alteraciones que comprometieran el análisis, las escenas fueron recortadas con el polígono urbano oficial (Hua et al., 2017; Pesta et al., 2014).

Si bien el detalle espacial de 30 metros que ofrecen los sensores Landsat resulta óptimo para reconstruir patrones evolutivos a largo plazo, su precisión encuentra restricciones en las zonas de borde o áreas periurbanas. En estas regiones de alta heterogeneidad, la coexistencia de coberturas vegetales y superficies pavimentadas bajo una misma unidad de píxel impide una discriminación exacta de unidades arquitectónicas singulares. Por consiguiente, los resultados presentados deben asumirse como aproximaciones a la tendencia del desarrollo a nivel macro urbano, desmarcándose de cualquier rigor de carácter parcelario. Esta metodología favorece la evaluación de intervalos temporales extensos, a pesar de que condiciona la identificación de microdensificaciones, edificaciones segregadas o franjas de transición con firmas espectrales combinadas (Guan et al., 2022; Nie et al., 2019).

2.3. Clasificación de cobertura y uso del suelo

La clasificación LULC se realizó mediante Maximum Likelihood Classification (MLC), método ampliamente utilizado en estudios multitemporales por su robustez en escenarios de respuesta espectral relativamente homogénea (Chughtai et al., 2021). En relación la característica de la investigación se definieron cuatro clases: vegetación, edificado/impermeable, suelo desnudo/transición y superficies oscuras. Esta última agrupó cuerpos de agua, sombras y otras superficies de baja reflectancia. Aunque se intentó separar estos elementos en clases independientes, la similitud espectral no permitió una diferenciación estable entre escenas. Por lo cual, se mantuvo como una categoría operativa de control espectral, útil para ordenar la clasificación, pero no como un indicador territorial central de expansión urbana.

La construcción de las áreas de entrenamiento se ejecutó mediante la digitalización de polígonos en el Training Sample Manager de ArcGIS Pro, sustentada en una fotointerpretación visual rigurosa para cada periodo. El inventario de fuentes incluyó una fotografía aérea histórica del Instituto Geográfico Militar (IGM), proporcionada por el GAD de Portoviejo, para el escenario de 1998, una ortofoto institucional para 2014 y el uso de imágenes base de alta resolución propias del ArcGIS Pro, para el año 2024. Este esfuerzo derivó en un robusto conjunto de datos compuesto por 228,

230 y 240 registros respectivamente, garantizando una representatividad equilibrada entre las cuatro categorías temáticas analizadas.

2.4. Evaluación de la exactitud temática

La exactitud de las clasificaciones se evaluó mediante matrices de confusión, usando puntos independientes de validación, de acuerdo con las recomendaciones de Congalton y Green (2019) y Olofsson et al. (2014). Se aplicó un muestreo estratificado por clase, con 200 puntos de validación por año. En 1998 y 2024 se asignaron 50 puntos por clase; en 2014 se utilizaron 51 puntos para vegetación, 50 para edificado/impermeable, 49 para suelo desnudo/transición y 50 para superficies oscuras.

La evaluación del desempeño de las clasificaciones LULC se fundamentó en parámetros derivados de las matrices de confusión, específicamente la exactitud global, el coeficiente kappa, así como la Exactitud del Productor (PA) y del Usuario (UA). Con el fin de mantener el rigor léxico largo del manuscrito, se optó deliberadamente por el término "Exactitud" en lugar de "Precisión". Bajo este enfoque, la fiabilidad y coherencia de las categorías resultantes encuentran su principal sustento evaluativo en las métricas de Exactitud del Usuario (UA) y Exactitud del Productor (PA).

2.5. Análisis de cambios, persistencias y apoyo espectral

La detección de cambios se realizó mediante comparación posclasificación entre los mapas de 1998, 2014 y 2024. Este procedimiento permite identificar transiciones entre clases a partir de mapas temáticos independientes (Lu et al., 2004). Las matrices de cambio se calcularon con la herramienta Tabulate Area de ArcGIS Pro para los periodos 1998–2014, 2014–2024 y 1998–2024.

A través del examen de persistencias, fue posible diferenciar los procesos de transición de aquellas superficies que mantuvieron su estado original durante el periodo de estudio. En la evaluación espacial, se otorgó preferencia a las mutaciones de vegetación y suelo desnudo/transición hacia edificado/impermeable, dado que estas trayectorias constituyen indicadores directos del crecimiento urbano. Por otro lado, aunque los cambios relacionados con superficies oscuras se documentaron en aras del rigor metodológico, su interpretación se consideró secundaria a causa de la complejidad y variabilidad espectral intrínseca de dicha categoría. De manera complementaria, se calculó el índice NDBI como apoyo visual para reconocer áreas urbanizadas (Ghosh et al., 2018; Prasomsup et al., 2020), sin incorporarlo como variable principal ni como resultado independiente, por ende, no se proyectó como un resultado autónomo en el modelo.

2.6. Integración demográfica y ODS 11.3.1

A fin de vincular el crecimiento urbano con la evolución demográfica, se emplearon los registros censales del INEC (2001, 2010 y 2022). Se priorizó esta fuente empírica para mitigar los sesgos de modelos matemáticos que omiten realidades locales. Según criterios del GHSL y el ODS 11.3.1, una discrepancia temporal de tres años resulta admisible en análisis regionales. Este enfoque garantiza un soporte estadístico oficial, dotando al estudio de transparencia, reproducibilidad y rigor científico (Melchiorri et al., 2019).

El indicador ODS 11.3.1 se calculó como una aproximación comparativa entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento poblacional. La tasa de consumo se estimó a partir de la clase edificado/impermeable derivada de la clasificación LULC, mientras que la tasa poblacional se calculó con los censos urbanos más próximos disponibles. Dado que las imágenes satelitales corresponden a 1998, 2014 y 2024, existe una diferencia temporal con los años censales. Por esta razón, el indicador no se interpreta como una medición definitiva de eficiencia urbana, sino como una lectura aproximada de la relación entre crecimiento físico y población, siguiendo enfoques recientes sobre consumo de suelo y expansión urbana (Cardenas-Ritzert et al., 2024; Cimini et al., 2023).

3. Resultados

3.1. Exactitud temática de las clasificaciones

La exactitud temática de las clasificaciones se evaluó mediante matrices de confusión, considerando la Exactitud Global, la Exactitud del Usuario, la Exactitud del Productor y el Coeficiente Kappa, métricas ampliamente utilizadas en la validación de clasificaciones de cobertura y uso del suelo derivadas de sensores remotos (Congalton y Green, 2019; Olofsson et al., 2014; Stehman, 1997). En la Tabla 1 las clasificaciones correspondientes a 1998, 2014 y 2024 presenta valores de Exactitud Global superiores al 84%, lo que indica un desempeño adecuado para el análisis multitemporal de la expansión urbana en Portoviejo.

En el análisis de 1998, la clasificación alcanzó una Exactitud Global de 84,50% (Kappa = 0,773). Como se detalla en la Tabla 2, la clase vegetación fue identificada con precisión, registrando una UA de 92,59 % y una PA de 91,46%. Por el contrario, la categoría edificada/impermeable mostró un desempeño asimétrico, con una UA de 65,00% frente a una PA de 92,86%. Esta brecha sugiere que, si bien el algoritmo capturó la mayor parte de las áreas urbanas, la similitud espectral entre el suelo desnudo y las superficies construidas — típica en sensores Landsat de 30 m— indujo a errores de comisión en los bordes periurbanos.

Año	Puntos de validación	Exactitud Global	Coeficiente Kappa
1998	200	84,50 %	0,773
2014	200	8700 %	0,823
2024	200	86,50 %	0,811

Tabla 1: Exactitud Global y Coeficiente Kappa de las clasificaciones LULC. (2025)

Año	Clase	Exactitud del Usuario (UA)	Exactitud del Productor (PA)
1998	Vegetación	92,59%	91,46%
1998	Edificado/impermeable	65,00%	92,86%
1998	Suelo desnudo/transición	84,85%	80,00%
1998	Superficies oscuras	92,31%	60,00%
2014	Vegetación	95,12 %	88,64%
2014	Edificado/impermeable	79,69 %	94,44%
2014	Suelo desnudo/transición	91,94%	82,61%
2014	Superficies oscuras	81,82%	81,82%
2024	Vegetación	97,73%	79,63%
2024	Edificado/impermeable	93,75%	94,94%
2024	Suelo desnudo/transición	75,56%	77,27%
2024	Superficies oscuras	67,74%	91,30%

Tabla 2: Exactitud del Usuario y Exactitud del Productor por clase LULC. (2025)

Clase LULC	1998 (ha)	2014 (ha)	2024 (ha)	Cambio 1998–2024 (ha)
Vegetación	2050,74	1054,53	1111,23	−939,51
Edificado/impermeable	1012,05	1622,16	2027,34	+1 015,29
Suelo desnudo/transición	1682,19	1609,11	1135,71	−546,48
Superficies oscuras	342,27	801,45	812,97	+470,70

Tabla 3: Superficie por clase LULC y cambio neto, 1998–2024. (2025)

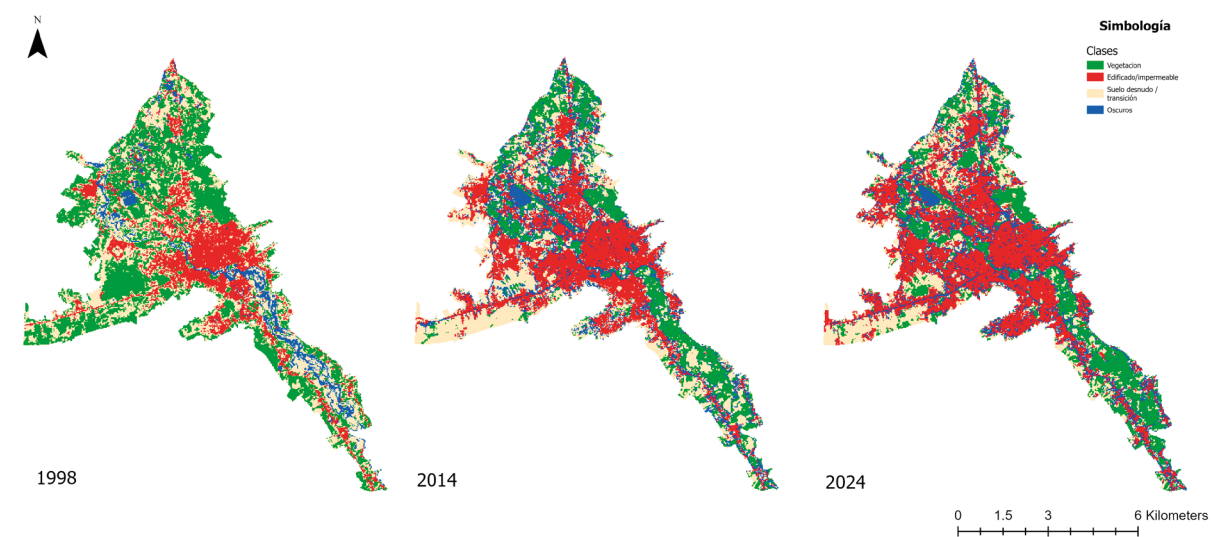


Figura 3: Mapas LULC (1998, 2014 y 2024). (2025)

Los resultados de 2014 evidenciaron el rendimiento global máximo del ciclo ($Kappa = 0,823$), destacando la consistencia de la categoría edificada/impermeable (UA: 79,69%; PA: 94,44%). Esta trayectoria de mejora se consolidó en 2024, alcanzando niveles óptimos de UA (93,75%) y PA (94,94%), lo cual ratifica la precisión cartográfica para analizar la expansión urbana actual. Finalmente, las superficies oscuras registraron una UA de 67,74% en 2024; este desempeño discreto responde a la complejidad espectral de la clase, que integra sombras y láminas de agua, incrementando el riesgo de confusión.

3.2. Cambios en la cobertura y uso del suelo

El análisis multitemporal evidenció una transformación importante de la cobertura y uso del suelo, en el polígono urbano de Portoviejo durante el periodo 1998–2024. Como se presenta en la Tabla 3 y visualiza en la Figura 3, la clase edificado/impermeable registró el cambio más relevante, al pasar de 1012,05 ha en 1998 a 2027,34 ha en 2024, lo que representa un incremento neto de 1015,29 ha. La vegetación mostró una reducción de 939,51 ha durante el periodo completo, al disminuir de 2050,74 ha en 1998 a 1111,23 ha en 2024.

De forma similar, el suelo desnudo/transición se redujo de 1682,19 ha a 1135,71 ha, con una pérdida neta de 546,48 ha. Por el contrario, las superficies oscuras aumentaron de 342,27 ha en 1998 a 812,97 ha en 2024; sin embargo, este resultado debe interpretarse con mesura debido a la heterogeneidad de esta clase.

El mayor incremento del suelo edificado se produjo entre 1998 y 2014, periodo en el que aumentó 610,11 ha. Entre 2014 y 2024, el crecimiento continuó, aunque con menor magnitud, incorporando 405,18 ha adicionales. Los resultados muestran una expansión sostenida del área edificada, durante todo el periodo de estudio (Figura 3).

3.3. Transiciones hacia el suelo edificado

Las matrices de transición permitieron identificar las coberturas que aportaron al crecimiento de la clase edificado/impermeable. Como se observa en la Tabla 4, entre 1998 y 2014 (Figura 4), las principales conversiones hacia edificado provinieron del suelo desnudo/transición, con 486,00 ha, y de la vegetación, con 308,25 ha. En conjunto, estas transiciones representaron 815,58 ha incorporadas a la clase edificada.

Transición hacia Edificado/impermeable	1998–2014 (ha)	2014–2024 (ha)	1998–2024 (ha)
Vegetación → Edificado	308,25	39,78	539,37
Suelo desnudo/transición → Edificado	486,00	402,84	649,89
Superficies oscuras → Edificado	21,33	203,94	36,18
Total	815,58	646,56	1 225,44

Tabla 4: Transiciones hacia la clase edificado/impermeable. (2025)

Periodo	Vegetación persistente (ha)	Edificado persistente (ha)	Suelo desnudo/ transición persistente (ha)	Superficies oscuras persistentes (ha)
1998– 2014	500,49	806,58	550,17	80,82
2014–2024	677,43	1 380,78	730,44	329,40
1998–2024	522,18	801,99	350,55	71,46

Tabla 5: Persistencias por clase LULC entre periodos.(2025)

Año censal	Población urbana	Población rural	Población total cantonal
2001	171847	66583	238430
2010	206682	73347	280029
2022	252248	70677	322925

Tabla 6: Población urbana, rural y total cantonal de Portoviejo. (2025)

Periodo espacial	Periodo censal usado	Tasa de consumo de suelo	Tasa de crecimiento poblacional	ODS 11.3.1
1998–2014	2001–2010	0,02949	0,02051	1,44
2014–2024	2010–2022	0,02230	0,01660	1,34
1998–2024	2001–2022	0,02672	0,01828	1,46

Tabla 7: Indicador ODS 11.3.1 según periodos de análisis. (2025)

Durante el decenio 2014-2024, la conversión hacia edificado continuó siendo mayor desde suelo desnudo/transición, con 402,84 ha (Figura 4). En este periodo también se registró una transición desde superficies oscuras hacia edificado de 203,94 ha; sin embargo, este hallazgo exige una lectura cautelosa dada la ambigüedad espectral de dicha categoría. Al evaluar el ciclo completo (1998–2024), las mayores contribuciones acumuladas al crecimiento edificado provinieron del suelo desnudo/transición, con 649,89 ha, y de la vegetación, con 539,37 ha.

En conjunto, las transiciones muestran que el crecimiento edificado de Portoviejo se produjo principalmente por la conversión de suelo desnudo/transición y vegetación hacia superficies impermeables (Figura 4). Con esta lectura se entiende la expansión como incorporación gradual de áreas en cambio, asociadas a bordes urbanos y espacios periurbanos. Las transiciones desde superficies oscuras se mantienen por transparencia metodológica, pero no sustentan la interpretación central debido a su heterogeneidad. Además, el total de transiciones hacia edificado no equivale al cambio neto, porque algunas áreas edificadas pasaron a otras categorías.

3.4. Persistencias y consolidación urbana

Además de las transiciones, en las matrices de cambio se identificaron las áreas que permanecieron estables entre periodos. Este análisis resulta relevante porque permite diferenciar la expansión de nuevas áreas edificadas, de las superficies de permanencia previamente existente. Como se muestra en la Tabla 5, entre 1998 y 2014 la clase edificado/impermeable presentó una persistencia de 806,58 ha. Entre 2014 y 2024, esta persistencia aumentó a 1380,78 ha, lo que evidencia un proceso de consolidación progresiva del suelo urbanizado.

Durante el ciclo 1998–2024, se detectó un núcleo estable de 801,99 ha bajo la clase edificado/impermeable, lo que define la huella urbana persistente en la zona. Al cruzar estos datos de estabilidad con las dinámicas de transición, se observa que la expansión de Portoviejo trasciende el simple despliegue horizontal hacia nuevas periferias. En realidad, la ciudad experimenta un fenómeno dual que articula el crecimiento de borde con el robustecimiento y la densificación de su estructura urbana original.

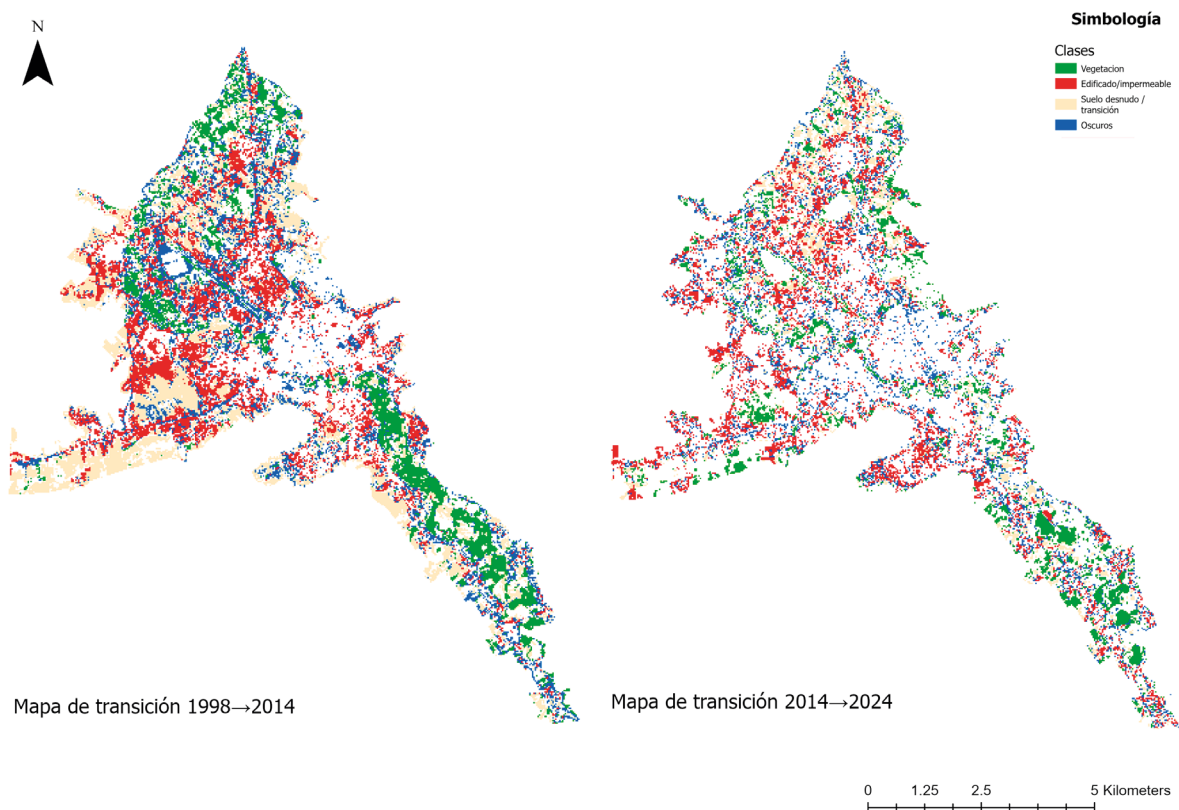


Figura 4: Mapas de transición 1998→2014 y 2014→2024. (2025)

3.5. Relación entre crecimiento edificado y dinámica poblacional

La expansión del suelo edificado fue contrastada con la dinámica poblacional urbana, a partir de los censos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos correspondientes a 2001, 2010 y 2022 (INEC, 2001, 2010, 2022). Según los datos de la Tabla 6, Portoviejo experimentó un crecimiento demográfico de 80401 residentes entre 2001 (171847 hab.) y 2022 (252248 hab.). Simultáneamente, el área construida registró una expansión de 1015,29 ha, ascendiendo de una base de 1012,05 ha en 1998 hasta las 2027,34 ha contabilizadas en 2024.

De manera complementaria, se calculó el indicador ODS 11.3.1 como una aproximación comparativa entre consumo de suelo y crecimiento poblacional. Para ello se utilizaron tasas logarítmicas, la superficie edificada derivada de la clasificación LULC y los censos urbanos más próximos disponibles. Debido a que los años censales no coinciden exactamente con las fechas de las imágenes satelitales, este resultado debe leerse con moderación.

Tal como indica la Tabla 7, la tasa de consumo de suelo (0,02672) superó al crecimiento poblacional (0,01828) durante el periodo analizado, obteniéndose un valor aproximado de 1,46. Esta cifra denota que la expansión física del área edificada excedió proporcionalmente al incremento demográfico urbano. No obstante, este indicador debe interpretarse con cautela y no como una métrica absoluta de eficiencia en el territorio.

4. Discusión

Con los resultados se interpreta la expansión edificada de Portoviejo, como un proceso de reorganización territorial, y no solo como un aumento de superficie impermeable. Las principales transiciones hacia edificado/impermeable provinieron de suelo desnudo/transición y vegetación, lo que sugiere que el crecimiento urbano se apoyó en coberturas no consolidadas, muchas de ellas ubicadas en bordes urbanos, áreas periurbanas o sectores en transformación. Este comportamiento coincide con estudios latinoamericanos que han relacionado la expansión urbana con la ocupación de áreas periféricas, periurbanas o agrícolas, así como con presiones sobre suelos con funciones ambientales o productivas (Cahe y Prada, 2022; Cruz-Muñoz, 2021; de Lima et al., 2023; Duque et al., 2019; Salamanca-Fonseca et al., 2023).

Mediante el análisis de persistencias observamos no solo el cambio neto de superficie. En Portoviejo, las áreas edificadas persistentes muestran que una parte del tejido urbano se mantuvo durante los periodos evaluados, mientras otras superficies se incorporaron al proceso de urbanización. Por lo consiguiente, la observación no se limita a mostrar cuánto creció la ciudad, sino también cómo se produjo ese crecimiento (Fenta et al., 2017; Stoica et al., 2021). Aunque este estudio no incorpora métricas específicas de forma urbana, reconocer las persistencias y transiciones ayuda a interpretar, zonas relativamente consolidadas de sectores de crecimiento reciente. Para la planificación local, esta distinción es útil porque no todos los espacios requieren la misma respuesta, los bordes urbanos operan como espacios en transición donde la fragmentación del paisaje y la degradación ambiental exigen una intervención urgente (Aguilar et al., 2022), mientras que las áreas persistentes requieren mantenimiento, infraestructura, movilidad y servicios.

Desde el punto de vista metodológico, las Exactitudes Globales obtenidas, entre 84,50% y 87,00%, respaldan el uso de las clasificaciones para analizar tendencias multitemporales de cobertura y uso del suelo. Cabe indicar que el uso de matrices de confusión, Exactitud del Usuario, Exactitud del Productor y Coeficiente Kappa; responde a procedimientos ampliamente aceptados para evaluar la calidad temática de clasificaciones LULC (Congalton y Green, 2019; Olofsson et al., 2014). Aun así, la resolución de Landsat de 30 m obliga a interpretar los hallazgos con prudencia, dada la coincidencia espectral entre las áreas desnudas y el tejido urbano. Este fenómeno persiste como un desafío técnico recurrente incluso en sensores multispectrales (Delaney et al., 2025; Osgouei et al., 2019).

A este escenario se añade que la fotografía aérea de 1998, a pesar de poseer una definición espacial superior a los sensores Landsat, presentaba una

naturaleza pancromática. Esta característica pudo derivar en una mayor incertidumbre óptica al momento de discriminar el tejido urbano frente a terrenos sin cobertura o zonas de penumbra. Tal restricción técnica explica el descenso en la Exactitud del Usuario para la clase edificado/impermeable en dicho año, así como las discrepancias en las superficies oscuras. En consecuencia, la información generada debe interpretarse como una tendencia del crecimiento territorial y no como un levantamiento cartográfico de alta precisión.

Para este estudio la categoría de superficies oscuras actuó como un elemento auxiliar, su variabilidad puede derivar tanto de cambios antrópicos como de factores de iluminación o mezcla espectral. Por ello, el análisis se focalizó en las transiciones desde vegetación y suelo desnudo/transición hacia edificado/impermeable. Asimismo, el vínculo entre expansión física y población requiere una lectura prudente ante el desfase temporal entre imágenes satelitales y censos. Si bien el ODS 11.3.1 sugiere que el suelo urbano creció por encima de la demografía, este indicador funciona como una señal de tendencia y no como un veredicto final sobre la eficiencia en Portoviejo.

Desde un enfoque territorial, la evolución de Portoviejo sobrepasa la mera presión demográfica; esto sugiere procesos de producción urbana regidos por variables ajenas a la migración o natalidad. Mahtta et al. (2022), sostienen que la expansión del entorno construido suele responder a lógicas inmobiliarias y marcos institucionales que valoran el suelo como activo financiero. Tal asincronía —con una mancha urbana que supera el ritmo poblacional— plantea retos severos a la planeación local, al demandar inversiones elevadas para expandir redes de servicios hacia zonas periféricas dispersas.

En entornos urbanos intermedios, la administración del suelo encara obstáculos críticos derivados de la debilidad institucional y la escasa capacidad técnica para desplegar infraestructuras de gran escala. La falta de presupuesto y la dificultad de coordinación interdepartamental frenan la adopción de esquemas de crecimiento inteligente (*smart growth*) que armonicen la densidad con la protección de servicios ecosistémicos (Artmann et al., 2019). No obstante, en estas ciudades, implementar modelos territoriales eficientes y diversificar la recaudación municipal resultan ser ejes vitales para asegurar la sostenibilidad financiera y el acceso a servicios básicos (Tan y Taihagh, 2020).

Desde la planificación local, los hallazgos sugieren tres ejes estratégicos. Primero, es imperativo monitorear con rigor los frentes de expansión, particularmente donde la pérdida de suelos agrícolas revela la fragilidad de las zonas de transición, ante la dispersión desordenada y la presión inmobiliaria (Aguilar et

al., 2022). Paralelamente, la política urbana debe enfocarse en fortalecer los sectores ya provistos de infraestructuras básicas, evitando así la configuración de periferias dispersas que incrementan los costos de mantenimiento y provisión de servicios básicos (Daunt et al., 2021). Finalmente, se recomienda la adopción sistemática de estudios multitemporales de cobertura, como insumo clave en la actualización de instrumentos de ordenamiento territorial.

De cara a investigaciones futuras, este análisis podría potenciarse mediante el uso de sensores de mayor resolución espacial, capaces de perfeccionar el detalle de las categorías y reducir las incertidumbres de firma espectral (Qin y Liu, 2022; Xu et al., 2024). Del mismo modo, la integración de registros de catastro, parámetros de morfología urbana y comprobaciones *in situ* aportaría una visión más fina sobre el aprovechamiento del suelo. Este enfoque permitiría capturar fenómenos que exceden la capacidad de los sensores Landsat, tales como los procesos de densificación interna, el completamiento de solares vacantes y las transformaciones micro-espaciales en la periferia inmediata.

5. Conclusiones

La evaluación multitemporal realizada evidencia que, durante el intervalo 1998-2024, Portoviejo registró una dilatación sustancial de su mancha urbana. Dicha evolución se encuentra estrechamente ligada a la disminución de la vegetación y de los espacios sin cobertura, ratificando una sustitución progresiva hacia superficies de carácter impermeable. Los resultados derivados de las matrices de persistencia indican una evolución compleja: de forma simultánea a la incorporación de nuevos terrenos al área urbana, se produjo un fortalecimiento de los sectores preexistentes. Esta metodología de análisis facilita la diferenciación entre el crecimiento en los márgenes y los procesos de compactación interna, superando la limitación de los cálculos de balance neto.

En cuanto al parámetro ODS 11.3.1, las cifras indican que la tasa de ocupación de suelo superó a la velocidad de crecimiento poblacional, aunque este dato debe tomarse como una aproximación dada la asincronía entre las capturas satelitales y los registros censales. Si bien el sistema Landsat permitió una reconstrucción histórica homogénea, su capacidad de detección se ve condicionada por el detalle de 30 metros. En última instancia, los resultados enfatizan la necesidad de supervisar los perímetros de expansión y resguardar los suelos productivos, sugiriendo que futuros trabajos integren información catastral y sensores de alta definición.

Conflicto de intereses. El autor declara no tener conflictos de intereses.

© **Derechos de autor:** Douglas Gabriel Pichucho Morales, 2027.

© **Derechos de autor de la edición:** *Estoa*, 2027.

6. Referencias bibliográficas

- 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>
- Artmann, M., Kohler, M., Meinel, G., Gan, J. & Iloja, I. C. (2019). How smart growth and green infrastructure can mutually support each other— A conceptual framework for compact and green cities. *Ecological Indicators*, 96(2), 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.ECOLIND.2017.07.001>
- Bolay, J.-C. and Kern, A.-L. (2026). Intermediate Cities. In *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies*, A.M. Orum (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0163>
- Cahe, E. y Prada, J. (2022). Evolución de la expansión urbana y riesgos para la agricultura de proximidad en el sur de Córdoba, Argentina. *EURE (Santiago)*, 48(144), 1–21. <https://doi.org/10.7764/EURE.48.144.11>
- Cardenas-Ritzert, O. S. E., Vogeler, J. C., Shah Heydari, S., Fekety, P. A., Laituri, M. & McHale, M. R. (2024). Effects of Land Use Data Spatial Resolution on SDG Indicator 11.3.1 (Urban Expansion) Assessments: A Case Study Across Ethiopia. *Sustainability* 16(22), 9698. <https://doi.org/10.3390/SU16229698>
- Cattaneo, A., Girgin, S., De By, R., Mcmenomy, T., Nelson, A. & Vaz, S. (2024). Worldwide delineation of multi-tier city-regions. *Nature Cities*, 1, 469–479. <https://doi.org/10.1038/s44284-024-00083-z>
- Cedeño Zambrano, H. G. y Cedeño Zambrano, L. y Cedeño Delgado, T. (2020). Ciudad Compacta vs. Ciudad Difusa: Análisis antes y postterremoto en ciudad intermedia. Portoviejo, Ecuador. *ISUF-h 2019- Ciudad Compacta versus Ciudad Difusa. Libro de Actas*, 149–156. <https://doi.org/10.4995/ISUFh2019.2019.9978>
- Cheng, G., Huang, Y., Li, X., Lyu, S., Xu, Z., Zhao, H., Zhao, Q. & Xiang, S. (2024). Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, 16(13), 2355. <https://doi.org/10.3390/RS16132355>
- Chughtai, A. H., Abbasi, H. & Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100482. <https://doi.org/10.1016/j.RSASE.2021.100482>
- Chun, A., Pólit, E., Pichucho, D. y Reyna, A. (2023). Incidencia del cambio de Uso de Suelo en el Paisaje Urbano fluvial de Portoviejo. *Revistarquis*, 12(1), 45–75. <https://doi.org/10.15517/RA.V12I1.51707>

- Cimini, A., De Fioravante, P., Riitano, N., Dichicco, P., Calò, A., Scarascia Mugnozza, G., Marchetti, M. & Munafò, M. (2023). Land Consumption Dynamics and Urban-Rural Continuum Mapping in Italy for SDG 11.3.1 Indicator Assessment. *Land*, 12(1), 155. <https://doi.org/10.3390/LAND12010155>
- Congalton, R. G. & Green, K. (2019). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, Third Edition. In *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data* (3rd Edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>
- Cruz, B. (2016). Transformation of the urban periphery and new forms of inequality in Brazilian cities: a view on the recent changes in housing production. *Cad. Metropole* 18(35). <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2016-3510>
- Cruz-Muñoz, F. (2021). Patrones de expansión urbana de las megaurbes latinoamericanas en el nuevo milenio. *EURE (Santiago)*, 47(140), 29–49. <https://doi.org/10.7764/EURE.47.140.02>
- Daunt, A., Inostroza, L. & Hersperger, A. (2021). The role of spatial planning in land change: An assessment of urban planning and nature conservation efficiency at the southeastern coast of Brazil. *Land Use Policy*, 111, 105771. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2021.105771>
- de Lima, G. N., Fonseca-Salazar, M. A. & Campo, J. (2023). Urban growth and loss of green spaces in the metropolitan areas of São Paulo and Mexico City: effects of land-cover changes on climate and water flow regulation. *Urban Ecosystems*, 26(6), 1739–1752. <https://doi.org/10.1007/S11252-023-01394-0>
- Delaney, B., Tansey, K. & Whelan, M. (2025). Satellite Remote Sensing Techniques and Limitations for Identifying Bare Soil. *Remote Sensing*, 17(4), 630. <https://doi.org/10.3390/RS17040630>
- Duque, J. C., Lozano-Gracia, N., Patino, J. E., Restrepo, P. & Velasquez, W. A. (2019). Spatiotemporal dynamics of urban growth in Latin American cities: An analysis using nighttime light imagery. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103640. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2019.103640>
- Estoque, R. C., Ooba, M., Togawa, T., Hijioka, Y. & Murayama, Y. (2021). Monitoring global land-use efficiency in the context of the UN 2030 Agenda for Sustainable Development. *Habitat International*, 115, 102403. <https://doi.org/10.1016/J.HABITATINT.2021.102403>
- Fariás, E. y Delgado, G. y Tinizaray, R. (2025). Evaluación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Portoviejo mediante análisis de imágenes satelitales y SIG. *Revista Multidisciplinaria Voces de América y El Caribe*, 2(1), 255–276. <https://doi.org/10.69821/REMUUVAC.V2I1.166>
- Fenta, A. A., Yasuda, H., Haregeweyn, N., Belay, A. S., Hadush, Z., Gebremedhin, M. A. & Mekonnen, G. (2017). The dynamics of urban expansion and land use/land cover changes using remote sensing and spatial metrics: the case of Mekelle City of northern Ethiopia. *International Journal of Remote Sensing*, 38(14), 4107–4129. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1317936>
- Ghosh, D. K., Mandal, A. C. H., Majumder, R., Patra, P. & Bhunia, G. S. (2018). Analysis for mapping of built-up area using remotely sensed indices - A case study of rajarhat block in Barasat sadar sub-division in west Bengal (India). *Journal of Landscape Ecology (Czech Republic)*, 11(2), 67–76. <https://doi.org/10.2478/JLECOL-2018-0007>
- Guan, Y., Li, X., Li, S., Sun, H. & Liu, H. (2022). Effect of Urban fringes green space fragmentation on ecosystem service value. *PLoS ONE*, 17(2), e0263452. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0263452>
- Hua, L., Zhang, X., Chen, X., Yin, K. & Tang, L. (2017). A Feature-Based Approach of Decision Tree Classification to Map Time Series Urban Land Use and Land Cover with Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI in a Coastal City, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6(11), 331. <https://doi.org/10.3390/IJGI6110331>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2001). *Base de Datos-Censo de Población y Vivienda 2001*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2001/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2010). *VII Censo de Población y VI de Vivienda - 2010*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2022). *Data - Censo Ecuador 2022*. <https://www.censoecuador.gob.ec/data-censo-ecuador/>
- Laituri, M., Davis, D., Sternlieb, F. & Galvin, K. (2021). Sdg indicator 11.3.1 and secondary cities: An analysis and assessment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(11), 713. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110713>
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E. & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365–2401. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Mahtta, R., Fragkias, M., Güneralp, B., Mahendra, A., Reba, M., Wentz, E. A. & Seto, K. C. (2022). Urban land expansion: the role of population and economic growth for 300+ cities. *Npj Urban Sustainability*, 2(1), 5. <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00048-y>
- Melchiorri, M., Pesaresi, M., Florczyk, A. J., Corbane, C. & Kemper, T. (2019). Principles and Applications of the Global Human Settlement Layer as Baseline for the Land Use Efficiency

- Indicator—SDG 11.3.1. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 96. <https://doi.org/10.3390/IJGI8020096>
- Mudau, N., Mwaniki, D., Tsoeleng, L., Mashalane, M., Beguy, D. & Ndugwa, R. (2020). Assessment of SDG Indicator 11.3.1 and Urban Growth Trends of Major and Small Cities in South Africa. *Sustainability* 12(17), 7063. <https://doi.org/10.3390/SU12177063>
- Nie, Z., Chan, K. & Xu, B. (2019). Preliminary Evaluation of the Consistency of Landsat 8 and Sentinel-2 Time Series Products in An Urban Area—An Example in Beijing, China. *Remote Sensing*, 11(24), 2957. <https://doi.org/10.3390/RS11242957>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E. & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2014.02.015>
- Osgouei, P. E., Kaya, S., Sertel, E. & Alganci, U. (2019). Separating Built-Up Areas from Bare Land in Mediterranean Cities Using Sentinel-2A Imagery. *Remote Sensing*, 11(3), 345. <https://doi.org/10.3390/RS11030345>
- Pesta, F., Bhatta, S., Helder, D. & Mishra, N. (2014). Radiometric Non-Uniformity Characterization and Correction of Landsat 8 OLI Using Earth Imagery-Based Techniques. *Remote Sensing*, 7(1), 430–446. <https://doi.org/10.3390/RS70100430>
- Prasomsup, W., Piyatadsananon, P., Aunphoklang, W. & Boonrang, A. (2020). Extraction technic for built-up area classification in Landsat 8 imagery. *International Journal of Environmental Science and Development*, 11(1), 15–20. <https://doi.org/10.18178/IJESD.2020.11.1219>
- Qin, R. & Liu, T. (2022). A Review of Landcover Classification with Very-High Resolution Remotely Sensed Optical Images—Analysis Unit, Model Scalability and Transferability. *Remote Sensing*, 14(3), 646. <https://doi.org/10.3390/RS14030646>
- Reyna, A. E., Reyna, J. L. y Vines, C. Julio. (2017). Escenarios de crecimiento urbano 2017 y 2022 de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, a partir de autómatas celulares. *Revista San Gregorio*, 7(19), 20–33. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2528-79072017000200020&lng=es&nrm=iso
- Saavedra, D. P. R. (2020). *Uso de suelo rural para la expansión urbana y resiliencia frente al cambio climático: parroquia Riochico, Portoviejo-Manabí, período 2010-2018*. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/16564>
- Salamanca-Fonseca, M., Aldana, A. M., Vargas-Martínez, V., Acero-Gómez, S., Fonseca-Tellez, J., Gutierrez, S., Hoyos, D., León, K. M., Márquez, C., Molina-R, L., Moreno-Abdelnur, A., Pineda, S. y Pinzón, J. J., Trespalacios, M., Velasco, L., Sanchez-Tello, J. D., Alvarez-Garzón, C., Posada, J. M. & Sanchez, A. (2023). Effects of urban, peri-urban and rural land covers on plant functional traits around Bogotá, Colombia. *Urban Ecosystems*, 27(1), 251–260. <https://doi.org/10.1007/S11252-023-01429-6>
- Schuster-Olbrich, J. P., Marquet, O., Miralles-Guasch, C. & Fuentes, L. (2024). Spatial patterns and drivers of urban expansion: An exploratory spatial analysis of the Metropolitan Region of Santiago, Chile, from 1997 to 2013. *Cities*, 153, 105305. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2024.105305>
- Servicio Geológico de EE. UU. (2025). *Productos científicos de nivel 2 de la Colección Landsat 2 | Servicio Geológico de Estados Unidos*. USGS. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products>
- Sondou, T., Anoumou, K. R., Aholou, C. C., Chenal, J. & Pessoa Colombo, V. (2024). Urban Growth and Land Artificialization in Secondary African Cities: A Spatiotemporal Analysis of Ho (Ghana) and Kpalimé (Togo). *Urban Science* 8(4), 207. <https://doi.org/10.3390/URBANSCI8040207>
- Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62(1), 77–89. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00083-7)
- Stoica, I. V., Zamfir, D. & Virghileanu, M. (2021). Evaluating the Territorial Impact of Built-Up Area Expansion in the Surroundings of Bucharest (Romania) through a Multilevel Approach Based on Landsat Satellite Imagery. *Remote Sensing* 13(19), 3969. <https://doi.org/10.3390/RS13193969>
- Tan, S. Y. & Taeiagh, A. (2020). Smart City Governance in Developing Countries: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12(3), 899. <https://doi.org/10.3390/SU12030899>
- UN-Habitat. (2022). *Envisaging the Future of Cities*. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
- Valencia, M. (2022). *Portoviejo: Desarrollo económico, productivo y del comercio*. FARO.
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M. & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications* 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>
- Xu, P., Tsendbazar, N. E., Herold, M., de Bruin, S., Koopmans, M., Birch, T., Carter, S., Fritz, S., Lesiv, M., Mazur, E., Pickens, A., Potapov, P., Stolle, F., Tyukavina, A., Van De Kerchove, R. & Zanaga, D. (2024). Comparative validation of recent 10 m-resolution global land cover maps. *Remote Sensing of Environment*, 311, 114316. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2024.114316>
- Zhou, M., Lu, L., Guo, H., Weng, Q., Cao, S., Zhang, S. & Li, Q. (2021). Urban Sprawl and Changes in Land-Use Efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China from 2000 to 2020: A Spatiotemporal Analysis Using Earth Observation Data. *Remote Sensing* 13(15), 2850. <https://doi.org/10.3390/RS13152850>