

DOI: 10.25100/eg.v0i30.15169
Espacios y Territorios



Prototipo de plugin para la descarga y modelación de cambios territoriales del Ecuador¹

Prototype plugin for downloading and modeling territorial changes in Ecuador

Protótipo de plugin para download e modelagem de mudanças territoriais no Equador

Diego Pacheco Prado²

Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, Cuenca, Ecuador.
dpacheco@uazuay.edu.ec | 0000-0002-8432-0559

Julio Álvarez Estrella³

Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, Cuenca, Ecuador.
quinoalvarezestrella@hotmail.com | 0000-0001-5471-6643

Omar Delgado Inga⁴

Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, Cuenca, Ecuador.
odelgado@uazuay.edu.ec | 0000-0001-7176-6490

Para citar este artículo: Pacheco-Prado, D., Álvarez, J. y Delgado, O. (2025). Prototipo de plugin para la descarga y modelación de cambios territoriales del Ecuador. *Entorno Geográfico*, (30), e20615169. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i30.15169>

Resumen

El manejo eficiente de información geográfica es fundamental para la planificación y el ordenamiento territorial en Ecuador, especialmente a través de los Sistemas de

¹ Este artículo describe parte de los resultados del proyecto de investigación I+D+I-XVII-2023-048 “Análisis de Problemas Territoriales en el Ecuador utilizando Machine Learning y Sensores Remotos desde una Perspectiva de Cambio Climático (APTECUCC)”.

² Ph.D (c) en Ingeniería Geomática por la Universidad Politécnica de Valencia; Magíster en Geomática con mención en Ordenamiento Territorial por la Universidad del Azuay (UDA). Actualmente, se desempeña como Docente/investigador en el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), adscrito al Vicerrectorado de Investigaciones de la Universidad del Azuay, Ecuador.

³³ Ingeniero Civil, Magíster en Hidrología con mención en Ecohidrología, PhD(c) en Justus Liebig University–Giessen, Alemania. Colaborador en proyectos de investigación en hidrología, gestión de riesgos y modelación ambiental en la Universidad del Azuay y la Universidad de Cuenca, Ecuador.

⁴ Profesor Titular de la Universidad del Azuay, pertenece al grupo de investigación “Territorio y Geomática”. Desde el 2010 sus actividades se relacionan con el uso de la geomática y las tecnologías de la información geográfica aplicadas a la planificación y gestión del territorio. Desde el 2017 es director ejecutivo del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) de la Universidad del Azuay.



Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

✉ **Correspondencia:** Diego Pacheco Prado. Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, Av. 24 de Mayo 7-77 y Hernán Malo. Cuenca, Ecuador. Correo-e: dpacheco@uazuay.edu.ec

Información Geográfica (SIG). Entre ellos, Quantum GIS (QGIS), ha sido adoptado por varias instituciones del país. En este contexto, se implementó un prototipo de plugin que permite la descarga de datos territoriales estandarizados del Ecuador continental. La información incluye series históricas de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de los años 2000, 2008, 2016, 2018, 2020 y 2022; así como variables territoriales relevantes como elevación, pendiente, accesibilidad a hidrografía y vialidad, y población; con una resolución espacial de 30 metros. La información descargada puede usarse en el segundo módulo, que permite modelar los cambios a futuro (2016, 2040 y 2070) mediante el algoritmo Random Forest, evaluando las relaciones espaciales existentes entre los píxeles. Finalmente, el plugin incluyó un módulo para la elaboración de informes asistidos por Inteligencia Artificial (Gemini), que permite analizar los cambios territoriales significativos y posibles acciones a realizar sobre el territorio. Los resultados de estas proyecciones pretenden aportar con información clave para el diseño de estrategias prospectivas enfocadas a la planificación y gestión sostenible del territorio.

Palabras clave: cambios en los usos del suelo, Gemini, Python, QGIS y Random Forest

Abstract

Efficient management of geographic information is essential for territorial planning and land-use management in Ecuador, particularly using Geographic Information Systems (GIS). Among these, Quantum GIS (QGIS) has been widely adopted by various institutions in the country. In this context, a prototype plugin was developed to enable the download of standardized territorial data for mainland Ecuador. The available information includes historical series of Land Use and Land Cover for the years 2000, 2008, 2016, 2018, 2020, and 2022, as well as relevant territorial variables such as elevation, slope, accessibility to hydrography and road networks, and population, all at a spatial resolution of 30 meters. The downloaded data can be used in the second module, which allows modeling of future land-use changes (2016, 2040, and 2070) using the Random Forest algorithm, incorporating spatial relationships among pixels. Finally, the plugin includes a reporting module assisted by artificial intelligence (Gemini), which supports the analysis of significant territorial changes and suggests actions to be taken. The results of these projections aim to provide key information for the design of forward-looking strategies focused on sustainable territorial planning and management.

Keywords: land use changes, Gemini, Python, QGIS and Random Forest

Resumo

O manejo eficiente de informações geográficas é fundamental para o planejamento e o ordenamento territorial no Equador, especialmente por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Entre eles, o Quantum GIS (QGIS) tem sido adotado por várias instituições do país. Nesse contexto, foi implementado um protótipo de plugin que permite o download de dados territoriais padronizados do Equador continental. As informações incluem séries históricas de Cobertura Vegetal e Uso do Solo dos anos 2000, 2008, 2016, 2018, 2020 e 2022; assim como variáveis territoriais relevantes, como elevação, declividade, acessibilidade à hidrografia e à malha viária, e população, com resolução espacial de 30 metros. Os dados baixados podem ser usados no segundo módulo, que permite modelar as mudanças futuras (2016, 2040 e 2070) por meio do algoritmo Random Forest, avaliando as relações espaciais existentes entre os pixels. Finalmente, o plugin incluiu um módulo para a elaboração de relatórios assistidos por Inteligência Artificial (Gemini), que possibilita analisar as mudanças territoriais significativas e as possíveis ações a serem realizadas sobre o território. Os resultados dessas projeções pretendem contribuir com informações-chave para o desenho de estratégias prospectivas voltadas ao planejamento e à gestão sustentável do território.

Palavras-chave: Alteração da utilização dos solos, Gemini, Python, QGIS, Random Forest.

Recibido: 20 de agosto de 2025

Aceptado: 15 de septiembre de 2025

Publicado: 25 septiembre de 2025

1. Introducción

En las últimas décadas, Ecuador ha experimentado transformaciones significativas en el uso del suelo (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador, 2015) como expansión de la frontera agrícola (Pinos-Arévalo, 2017), urbanización acelerada (Alvarado et al., 2017), deforestación (Kleemann et al., 2022; Sierra et al., 2021), entre otros. A pesar de los esfuerzos para conservar la biodiversidad y mitigar los impactos del cambio climático (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador, 2012), existen evidencias en la reducción de los bosques nativos en la Amazonía (Jaramillo y Antunes, 2018) y en las laderas de los Andes (Kleemann et al., 2000). Además, el crecimiento de la población en América Latina y especialmente en el Ecuador

ha provocado cambios drásticos en el ambiente, generando una acelerada degradación de los recursos naturales (Universidad Del Azuay, 2001). En este contexto, las áreas urbanas ecuatorianas han superado significativamente el porcentaje de crecimiento poblacional en el periodo 2001-2010 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015), lo que ha dado lugar a problemas como la formación de cinturones de pobreza, altos niveles de delincuencia, desempleo, deficiencia de servicios básicos y educación pública, entre otros. Otro problema relacionado al crecimiento espontáneo de los asentamientos en Ecuador es la ocupación de zonas no aptas para usos residenciales como: laderas con fuertes pendientes, márgenes de protección de ríos o quebradas; que a su vez van dando forma a una morfología urbana desordenada que dificulta la dotación eficiente de infraestructuras y servicios (Reyna et al., 2017). Por ejemplo, en los Andes del norte de Ecuador entre 1990 y 2014, se observó una expansión significativa de las áreas urbanas en tierras agrícolas bajas. Los bosques montanos se redujeron un 40%, especialmente entre 2800-3300 m de altitud, siendo reemplazados por tierras agrícolas (Guarderas et al., 2022).

Ante estas problemáticas, conocer las dinámicas de cambio de uso del suelo es fundamental para la planificación territorial, ya que permite identificar patrones de transformación del paisaje, evaluar sus causas y anticipar sus posibles impactos en el entorno natural y socioeconómico (Noszczyk, 2019; Wang et al., 2022). Para ello los modelos de cambio de uso del suelo son herramientas cruciales para la planificación y gestión sostenible, permitiendo determinar tendencias de crecimiento urbano, u otros cambios a partir de imágenes de satélite (Gaur y Singh, 2023).

Las técnicas más ampliamente utilizadas para modelar los cambios de uso del suelo incluyen métodos estadísticos, de aprendizaje automático y enfoques dinámicos (Kang et al., 2024; Noszczyk, 2019; Wang et al., 2022). Entre ellas destacan los modelos basados en sistemas de información geográfica (SIG), que emplean análisis espacial para detectar patrones de cambio mediante superposición y análisis multicriterio. Los modelos estadísticos, como la regresión logística (Chaturvedi y de Vries, 2021) y las cadenas de Markov (Hamad et al., 2018), permiten predecir probabilidades de cambio a partir de variables territoriales (Mutale y Qiang, 2024). Por otro lado, los autómatas celulares simulan cambios de uso del suelo a través del tiempo basados en reglas locales y estados vecinos, capturando dinámicas espaciales, como por ejemplo en el modelamiento de la expansión urbana (Principi, 2022). Finalmente, las técnicas de aprendizaje automático, como Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM) y redes neuronales,

identifican patrones complejos en grandes volúmenes de datos (Chaturvedi y de Vries, 2021; Wang et al., 2022). Los modelos basados en dinámica de sistemas integran procesos ecológicos, sociales y económicos para ofrecer una visión más holística, mientras que los modelos híbridos combinan varias técnicas, como autómatas celulares y cadenas de Markov (Rahnama, 2021), para mejorar la precisión en la representación de las dinámicas del paisaje.

En la generación de estos modelos, las variables más utilizadas para representar tendencias incluyen aspectos relacionados con la población (Gallardo, 2018); factores topográficos, como elevación y pendiente (Gallardo, 2018), elementos hidrológicos (Humacata, 2019; Oñate-Valdivieso y Oñate-Paladines, 2019) infraestructura vial (Jaraíz et al., 2012; (Mitsuda y Ito, 2011); (Villella, 2021). No obstante, en Ecuador persisten desafíos en el acceso a información georreferenciada, debido a la dispersión de fuentes de datos, la heterogeneidad en los formatos y la falta de herramientas automatizadas que faciliten su integración en estudios espaciales.

En este contexto, el presente trabajo propone el desarrollo de un plugin para QGIS que automatiza la descarga y gestión de datos territoriales, optimizando su uso en la evaluación de cambios de uso del suelo y otras aplicaciones en planificación territorial. El plugin desarrollado se basa en tres ejes principales: (1) la automatización de la descarga de datos geográficos de fuentes oficiales, optimizando su adquisición y procesamiento; (ii) la integración de variables clave como accesibilidad, topografía y población, mejorando la capacidad de análisis espacial; y (iii) una arquitectura basada en código abierto con Python, que asegura flexibilidad y escalabilidad para futuras mejoras.

1.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra dentro del Ecuador continental, donde se destaca su topografía accidentada y las condiciones climáticas. Se encuentra localizado en la región noroccidental de América del Sur, limitando al norte con Colombia, al sur y al este con Perú, y al oeste con el océano Pacífico (ver Figura 1). Su territorio continental se encuentra dividido en tres regiones principales: la Costa, la Sierra y la Amazonía. La Costa, se extiende desde la línea costera hasta la vertiente occidental de la cordillera de los Andes. La Sierra, formada por dos cordilleras, la Occidental y la Oriental. Finalmente, la Amazonía localizada a partir de la vertiente oriental de la cordillera hasta los límites

con el Perú (Instituto Geográfico Militar, 2013).

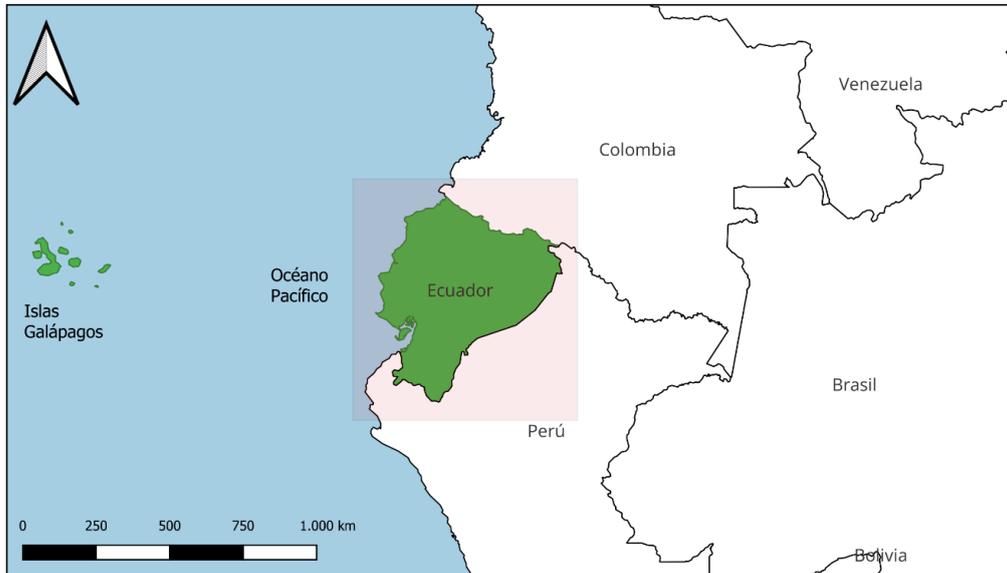


Figura 1. Mapa de ubicación de Ecuador

Fuente: Elaboración propia

2. Metodología

El desarrollo de este estudio se enfoca en la creación de un plugin para QGIS que facilita la descarga y gestión de datos geospaciales, mismos que permitirán modelar los cambios en el uso del suelo a través de datos históricos y otras variables relevantes para la planificación territorial. En la Figura 2 se describe el proceso de desarrollo e implementación del plugin.



Figura 2. Flujo de trabajo

Fuente: Elaboración propia

2.1. Cobertura vegetal, uso del suelo y variables explicativas

Los mapas de Cobertura Vegetal y usos del suelo (CVUS) históricos (Figura 3) permiten modelar escenarios tendenciales. En el caso de Ecuador la información histórica se encuentra disponible en el Geoportal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) que, a partir del 01 de junio del 2015, presentó una herramienta para la difusión de información ambiental que permite el despliegue de información ambiental (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, s.f.). La información obtenida de esta plataforma se manejó en su Nivel 1, en el cual los valores de los pixeles están representados por: 0-Sin datos (negro), 1-Bosque (verde), 2-Cuerpos de Agua (azul), 3-Tierra agropecuaria (amarillo), 4 -Vegetación arbustiva y herbácea (café), 5-Zonas antrópicas (rosa) y 6-Otras tierras (gris).

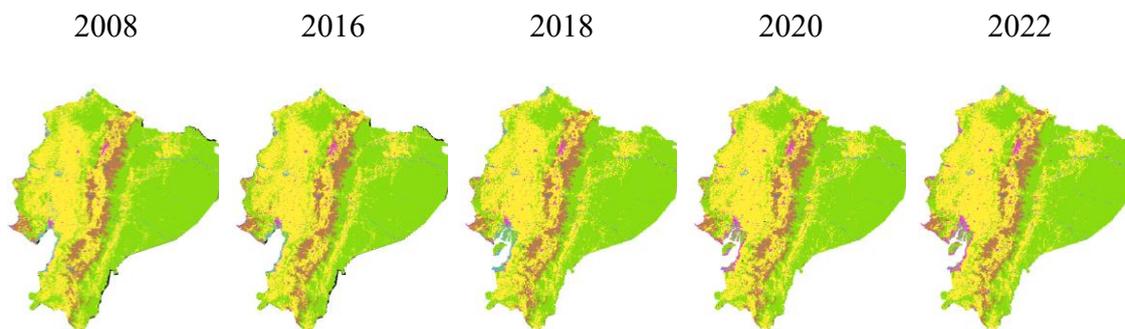


Figura 3. Mapas de Cobertura Vegetal y Uso del suelo Históricos del MAATE

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las variables territoriales que podrían asociarse a las dinámicas de cambios de usos del suelo se mencionan algunas como topografía, accesibilidad y población (Figura 4). De la primera categoría se utilizó los datos de elevación y pendiente, obtenidos del proyecto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) a través de la plataforma Google Earth Engine (GEE). SRTM es un proyecto internacional encabezado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). En cuanto a variables como la hidrografía se utilizó la información del proyecto Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA), en el cual se buscó elaborar y difundir un Almanaque Electrónico (Atlas en formato computarizado) con información temática espacial orientada al sector

agropecuario (Universidad del Azuay, 2001). La accesibilidad a través de la vialidad fue evaluada en función de los datos de OpenStreetMap (OSM) del año 2019. Tanto para hidrografía como para vialidad la accesibilidad se estimó en metros (m). Finalmente, los datos de población (cantidad de habitantes) en un sector censal, provisto por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censo (INEC) del año 2022 fue descargado de las Plataformas de Información Territorial del Ecuador de la Universidad del Azuay (<https://gis.uazuay.edu.ec/visores/plataformas-informacion/index.php>).

Para optimizar el rendimiento computacional en la generación de los escenarios tendenciales se homogenizó los sistemas de referencia geográficos y tipos de datos de la información descargada. Adicionalmente se debió realizar un proceso de rellenado de vacíos de datos y finalmente se generó un producto con una resolución espacial de 30 m para el Ecuador continental.

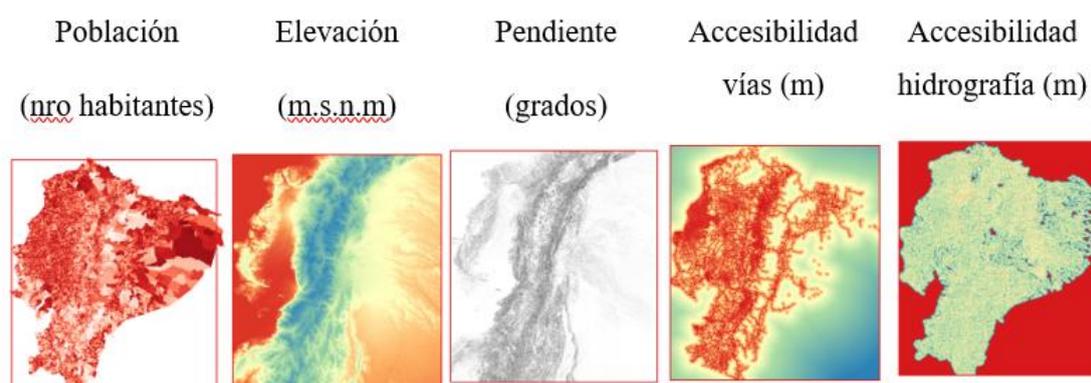


Figura 4. Variables territoriales generadas

Fuente: Elaboración propia

2.2. Desarrollo del plugin de QGIS

El plugin fue desarrollado e implementado en el software QGIS (versión 3.34 Prizren), un software libre que nos da la posibilidad de estudiar, modificar el código, y distribuir el programa en diferentes versiones modificadas. Utilizando el lenguaje de programación Python 3.8 y las bibliotecas de código abierto de QGIS (PyQGIS), el plugin se integra directamente con la plataforma, lo que facilita su actualización y mantenimiento continuo. Esta integración aprovecha las capacidades de QGIS para manipular, visualizar y analizar archivos vectoriales y rasterizados. Además, el diseño modular y flexible del plugin

permite futuras ampliaciones o actualizaciones según las necesidades del análisis. La interacción con el servidor de la UDA se realiza mediante un protocolo API (*Application Programming Interface*), lo que asegura una transferencia eficiente de los datos seleccionados.

El flujo de trabajo implementado en el plugin desarrollado para QGIS se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se estructura en una serie de etapas interconectadas diseñadas para optimizar la descarga, integración y análisis de datos geospaciales relacionados con el uso del suelo.

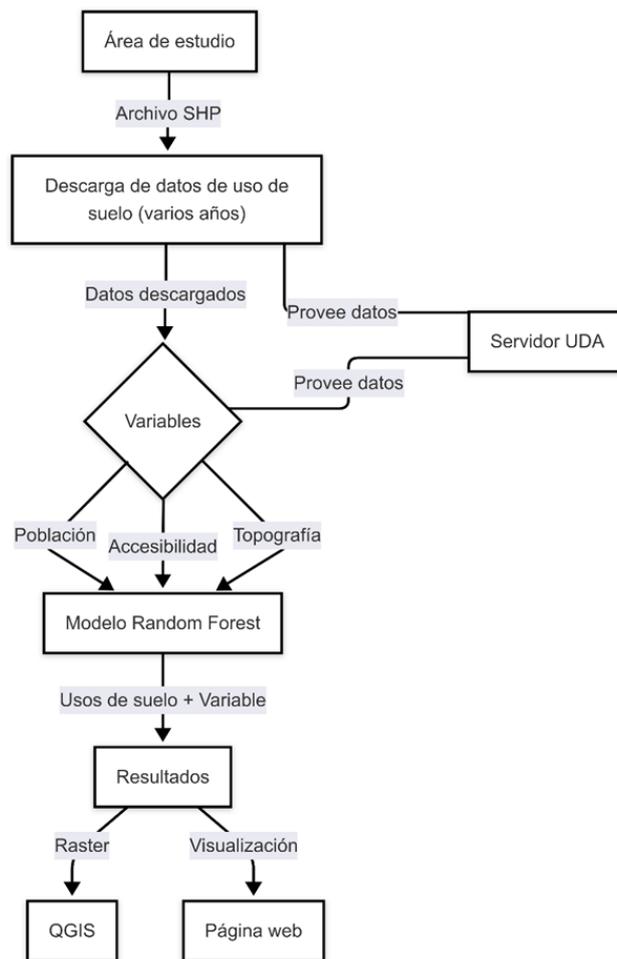


Figura 5. Flujo de trabajo del plugin

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe el proceso metodológico que el plugin automatiza:

Definición del Área de Estudio y Descarga de Datos de Uso de Suelo: El plugin permite al usuario definir el área de estudio a través de un archivo Shapefile (SHP). Una vez definida el área, el plugin descarga automáticamente datos históricos de uso del suelo desde fuentes oficiales, como el geoportal de la Universidad del Azuay (<https://gis.uazuay.edu.ec>). Estos datos proporcionan una base temporal para el análisis de cambios en el uso del suelo.

Descarga e Integración de Variables Clave: En una etapa posterior, el plugin descarga variables de interés relacionadas con el área de estudio, como datos de población, accesibilidad (vialidad y distancia a servicios) y topografía (elevación y pendiente). Estas variables, que también se obtienen del servidor UDA o fuentes similares, se combinan con los datos de uso del suelo para enriquecer el análisis espacial y mejorar la precisión del modelo predictivo.

Modelado Predictivo con Random Forest: El plugin incorpora un módulo de modelado basado en el algoritmo Random Forest (RF), seleccionado por su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y capturar relaciones no lineales entre las variables predictoras y los cambios en el uso del suelo. Este módulo permite al usuario entrenar y aplicar el modelo de manera eficiente, generando predicciones sobre futuros cambios en el uso del suelo, basado en una de las variables explicativas. De esta manera se puede analizar el impacto de cada variable en las dinámicas territoriales.

Generación de Resultados en formato Raster: Los resultados del modelado se exportan en formato raster, lo que facilita su visualización y análisis espacial dentro de QGIS. Este formato permite una representación detallada de los patrones de cambio y su distribución geográfica.

Visualización y difusión de Resultados: El plugin incluye herramientas para la visualización de los resultados dentro de QGIS, permitiendo al usuario generar mapas temáticos y realizar análisis espaciales avanzados. Adicionalmente, los resultados pueden exportarse para su difusión a través de una página web, lo que facilita el acceso a la información por parte de otros investigadores, planificadores y tomadores de decisiones.

3. Resultados

3.1. Interfaz gráfica del plugin

El plugin fue desarrollado con una interfaz gráfica a modo de asistente, donde cada

ventana corresponde a una etapa a realizar. En la primera pestaña (Figura 6) se debe seleccionar el área de estudio (polígono), proveniente de un shapefile del área a analizar. En la segunda pestaña (Figura 7) se debe seleccionar las capas de información de cobertura vegetal y uso del suelo a usar. El algoritmo de modelamiento de los cambios requiere de dos de estas capas para determinar las tendencias y establecer patrones que permitirán modelar los cambios a futuro.

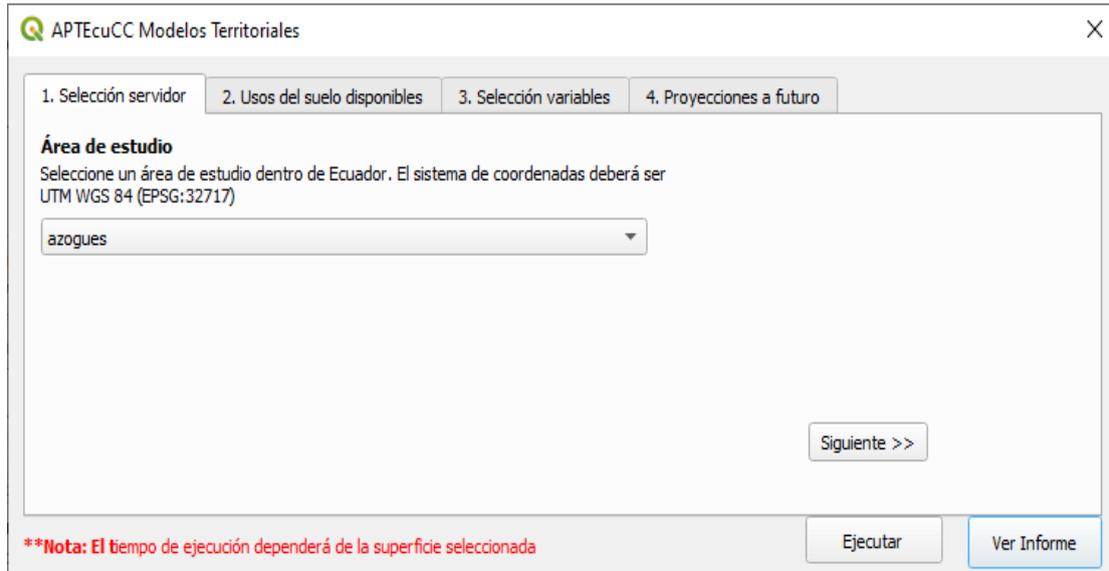


Figura 6. Selección de área de estudio

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Selección de capas de Cobertura vegetal y uso del suelo

Fuente: Elaboración propia

La tercera pestaña (Figura 8) corresponde a la sección donde se descargarán las variables explicativas que pueden relacionarse a los cambios de uso del suelo. A diferencia de otros aplicativos y software, este plugin modela los escenarios a futuro usando únicamente una variable explicativa, ello debido a que en este plugin se diseñó para evaluar el impacto individual de cada variable explicativa por separado, permitiendo analizar su influencia específica en los cambios de uso del suelo sin la interacción de múltiples factores simultáneamente. En la última pestaña (Figura 9) se seleccionan los usos del suelo base, siendo US1 la capa más antigua y US2 la más reciente. Posteriormente se selecciona el año al cual deseamos proyectar los cambios y la variable territorial que servirá como factor relacionado al cambio de uso del suelo. Luego de ejecutado el proceso se visualizará un gráfico que presenta las variaciones territoriales del año más reciente, en comparación con la proyección realizada.



Figura 8. Selección de variables territoriales

Fuente: Elaboración propia

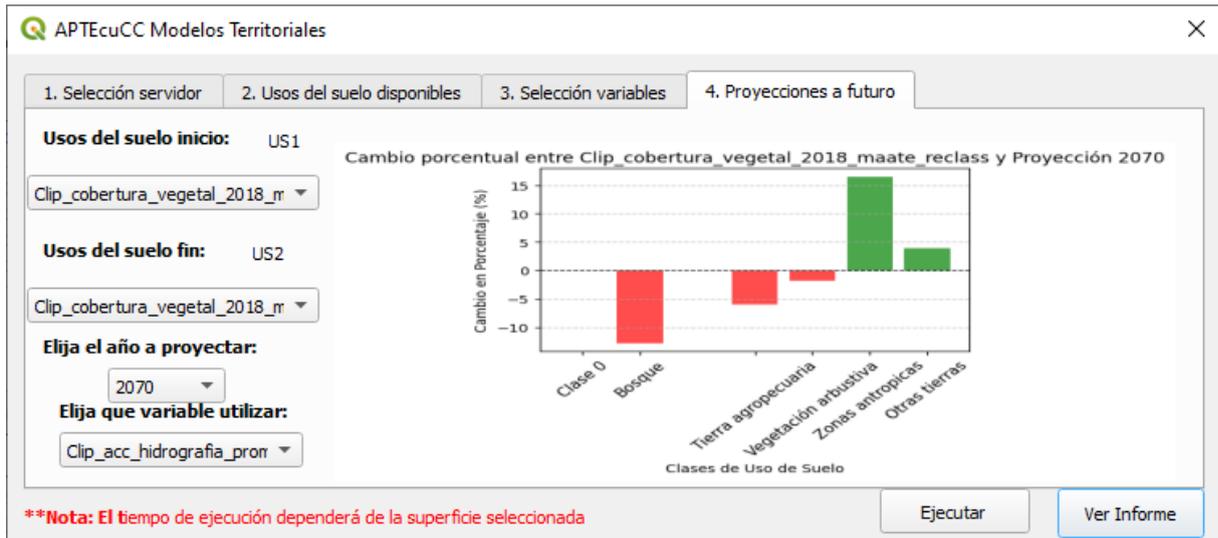


Figura 9. Modelamiento de cambios a futuro

Fuente: Elaboración propia

3.2. Reporte de cambios de usos del suelo asistido por Gemini

Con el objetivo de garantizar una fácil actualización en el futuro, así como mejorar la velocidad y accesibilidad del análisis, el reporte se ejecuta en un servidor web. Este enfoque permite que los usuarios accedan a la información de manera rápida y eficiente sin necesidad de instalar software adicional. Además, centralizar el procesamiento en un servidor optimiza la gestión de datos y evita problemas de compatibilidad entre plataformas.

El sistema recibe como parámetros de entrada las coordenadas del área de estudio y los valores de las superficies por categoría y año, asegurando que los cálculos y representaciones reflejen con precisión la información más reciente disponible. El reporte generado se estructura en tres secciones principales:

Ubicación: Se presenta un mapa con el encuadre del área de estudio, permitiendo una rápida identificación de la región analizada (Ver Figura 10).

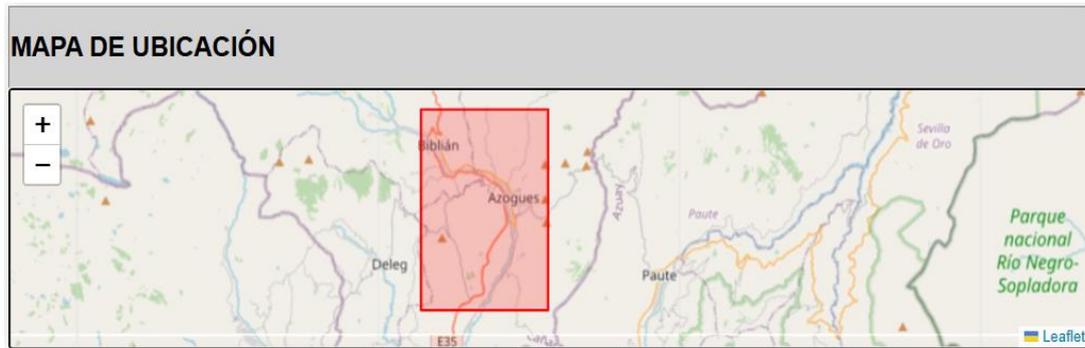


Figura 10. Sección mapa del reporte.

Fuente: Elaboración propia

Comparación de superficies: Se muestra una tabla y un gráfico que contrastan las superficies por clase de cobertura vegetal y uso del suelo en los distintos periodos seleccionados, proporcionando una visión clara de los cambios espaciales ocurridos (Ver Figuras 11 y 12).

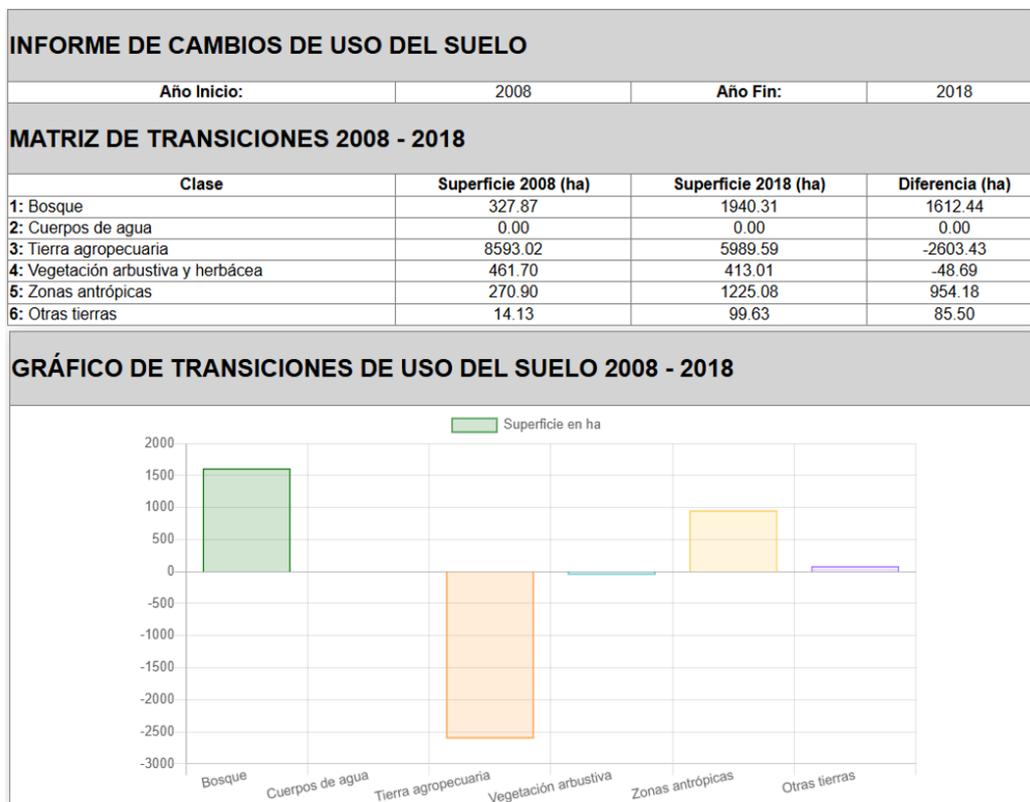


Figura 11. Reporte que evalúa las dinámicas de cambio entre los mapas seleccionados

Fuente: Elaboración propia

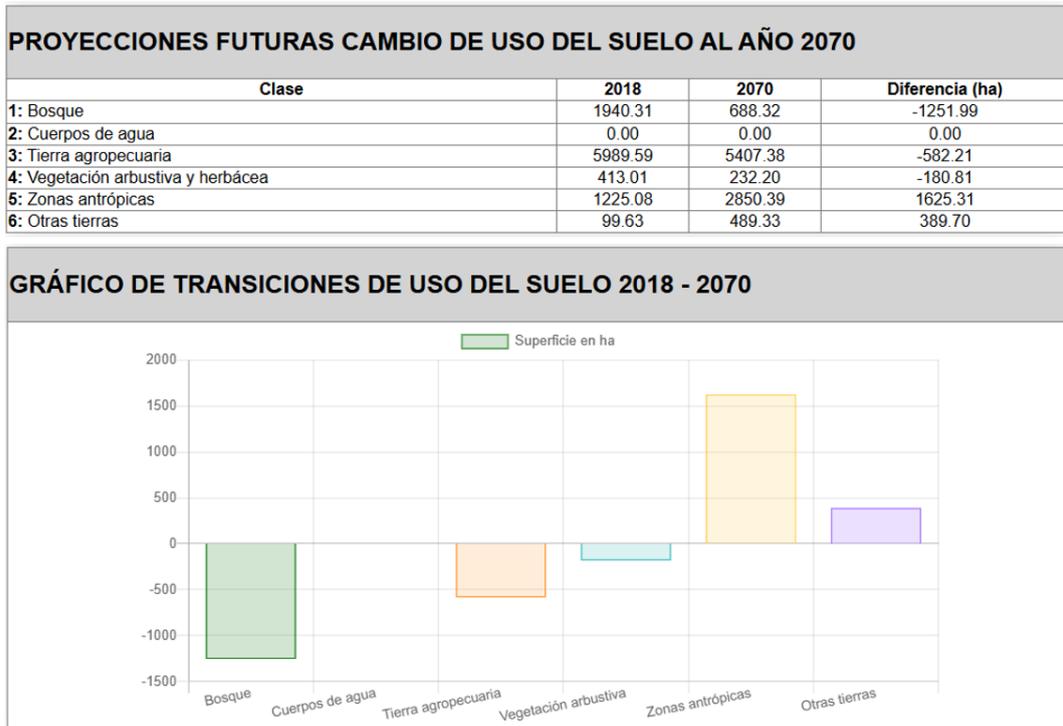


Figura 12. Reporte que evalúa las dinámicas de cambio entre el mapa más reciente y la proyección

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de resultados: Basándose en los datos procesados, se ha integrado el API de Gemini, la inteligencia artificial desarrollada por Google, para generar un análisis automatizado de los resultados (Figura 13). Mediante la instrucción *"Interpretar los resultados, presentar unas conclusiones y recomendaciones de las tablas"*, el sistema proporciona una interpretación contextualizada y dinámica en función de la información ingresada.

Interpretación de resultados con GEMINI

Interpretar reporte con IA

Interpretación de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones del Informe de Cambios de Uso del Suelo (2008-2040)

El informe presenta un análisis preocupante de los cambios en el uso del suelo entre 2008 y 2018, y proyecciones aún más alarmantes para 2040. Analicemos los datos:

Interpretación de Resultados:

***Aumento significativo de la superficie boscosa (2008-2018):** La mayor variación observada entre 2008 y 2018 es el incremento dramático de la superficie boscosa (1612.44 ha). Esto podría deberse a reforestación, procesos de sucesión natural o incluso errores en la clasificación inicial de 2008. Se necesita una investigación más profunda para determinar la causa exacta.

Disminución considerable de tierra agropecuaria (2008-2018 y proyección a 2040): La reducción de la tierra agropecuaria (-2603.43 ha entre 2008-2018) indica una posible disminución de la actividad agrícola o ganadera en la zona. La proyección a 2040 (-582.21 ha adicionales) sugiere una tendencia continua de reducción, lo que podría tener implicaciones económicas y sociales.

Expansión de zonas antrópicas (2008-2018 y proyección a 2040): El aumento significativo de las zonas antrópicas (954.18 ha entre 2008-2018) y su proyección aún mayor para 2040 (1625.31 ha) indica un crecimiento urbano o desarrollo infraestructural acelerado. Esta expansión podría estar directamente relacionada con la disminución de la tierra agropecuaria.

Cambios menores en vegetación arbustiva y herbácea y otras tierras: Las variaciones en estas categorías son relativamente menores en comparación con el bosque, la tierra agropecuaria y las zonas antrópicas, indicando un impacto menor en estas áreas.

Proyecciones a 2040: Las proyecciones sugieren una continuación de las tendencias observadas, con una disminución significativa del bosque (a pesar del incremento en la década previa) y una expansión aún mayor de las zonas antrópicas. Esto señala una potencial pérdida de biodiversidad y recursos naturales. La discrepancia entre el gran aumento de bosque entre 2008-2018 y la fuerte disminución proyectada para 2040 necesita ser investigada a fondo. Posiblemente, el aumento de 2008-2018 no es sostenible.

Figura 13. Fragmento de la interpretación de resultados, conclusiones y recomendaciones generadas por la IA de Gemini para el área de estudio de Azogues (generado el 6 de marzo del 2025).

Fuente: Elaboración propia.

Esta integración de IA permite obtener conclusiones adaptadas a los datos específicos del estudio, reduciendo la carga de análisis manual y facilitando la identificación de patrones y tendencias en los cambios de uso del suelo. Además, el uso de un servidor web no solo hace que la información sea más accesible y rápida de consultar, sino que también convierte el proceso en una experiencia más fluida e intuitiva para los usuarios.

4. Discusión

El uso de herramientas automatizadas para la gestión de datos geospaciales ha cobrado relevancia en la capacidad de analizar gran cantidad de datos espaciales, descubrir patrones ocultos y generar nuevos aportes orientados a la predicción y modelado espacial (Zambrano, 2024). En este sentido, el plugin desarrollado para QGIS representa un avance significativo al facilitar la descarga y estructuración de datos territoriales oficiales proporcionados, en este caso, por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y otras fuentes. Al centralizar el acceso a estos datos, se optimiza su integración en estudios espaciales y se reduce la complejidad de adquisición de información geoespacial, además de contar con una asistencia de la IA de Google para la interpretación de los resultados.

En comparación con otras soluciones existentes, este desarrollo se diferencia por su capacidad de descargar datos oficiales de manera automatizada y permitir al usuario seleccionar una o varias variables según sus necesidades específicas. Esto brinda mayor flexibilidad en la exploración y análisis de cambios en el uso del suelo, asegurando que la información descargada pueda adaptarse a diferentes enfoques de planificación territorial y modelado espacial.

Sin embargo, existen ciertas limitaciones en su implementación. Dependiendo del área de descarga y la capacidad de procesamiento del equipo utilizado, la obtención de datos puede ser un proceso relativamente lento en algunos computadores, lo que podría influir en la eficiencia del flujo de trabajo. Adicionalmente, la precisión y resolución de los análisis dependen de la calidad de los datos disponibles, así como de futuras actualizaciones del MAATE.

Actualmente, el plugin permite evaluar variables de forma individual para analizar los resultados que aporta cada una. En contraste, otros sistemas de análisis de cambios de uso del suelo integran múltiples variables simultáneamente, lo que puede ofrecer una visión más completa pero también implica una mayor complejidad computacional y metodológica.

Se plantea desarrollar una opción en el plugin que permita la selección y análisis de múltiples variables de manera simultánea. No obstante, esta funcionalidad requerirá un análisis exhaustivo para identificar cuáles variables tienen mayor influencia en los modelos predictivos, así como una evaluación de los recursos computacionales necesarios, ya que el procesamiento de grandes áreas con datos de alta resolución (por ejemplo, píxeles de 30 m) puede incrementar significativamente los tiempos de cálculo. Este enfoque multivariable será objeto de trabajos futuros, orientados a mejorar la precisión y aplicabilidad de los modelos de pronóstico de cambios en el uso del suelo.

5. Conclusiones

El desarrollo del plugin para QGIS propuesto en este estudio responde a la necesidad de contar con herramientas que faciliten la gestión de datos geoespaciales en Ecuador, proporcionando un acceso automatizado y estandarizado a información clave sobre cobertura y uso del suelo, así como a variables territoriales relevantes. Su implementación optimiza el proceso de adquisición y estructuración de datos, reduciendo barreras técnicas

y mejorando la eficiencia en estudios de planificación y ordenamiento territorial.

La adaptación de los datos para su integración en el plugin requirió una estandarización y transformación de los formatos originales, incluyendo la reescalación de información sobre accesibilidad y la conversión de datos a estructuras optimizadas para su procesamiento en Python. Estas mejoras aseguran compatibilidad con distintas aplicaciones dentro del entorno SIG y permiten su empleo en análisis espaciales a diferentes escalas.

Además de la descarga automatizada de datos, este plugin representa un avance significativo al integrar herramientas de modelado para pronóstico de cambios en el uso del suelo, permitiendo evaluar tendencias futuras con base en variables territoriales seleccionadas. Asimismo, la capacidad de generar y visualizar resultados a través de una página web facilita su acceso y consulta, promoviendo una toma de decisiones más ágil y fundamentada.

Otro aspecto innovador del sistema es la incorporación de inteligencia artificial para la interpretación de los resultados, lo que mejora la comprensión de los análisis y brinda soporte adicional en la evaluación de los cambios espaciales detectados. Esta integración de IA representa un gran avance en la automatización del análisis geoespacial, permitiendo generar interpretaciones más precisas y contextualizadas.

En conjunto, estas funcionalidades consolidan el plugin como una herramienta útil y versátil para la gestión y análisis de datos geoespaciales, con potencial para mejorar la planificación territorial y la toma de decisiones en estudios ambientales y urbanos.

6. Consideraciones finales

Contribución de los autores:

Diego Pacheco Prado: conceptualización, redacción, metodología (aplicación de instrumentos), programación, revisión y análisis formal; Julio Álvarez: conceptualización, redacción, metodología (aplicación de instrumentos), programación, revisión y análisis formal; Omar Delgado: conceptualización, redacción, revisión, supervisión.

Financiación:

Los autores agradecen a la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y Academia (CEDIA) por el soporte financiero entregado para el desarrollo del presente proyecto de investigación, desarrollo e innovación, a través del Fondo I+D+i Universidades para el proyecto I+D+I-XVIII-2023-48- APTEcuCC.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés en la escritura o publicación de este artículo.

Implicaciones éticas:

Los autores no tienen ningún tipo de implicación ética que se deba declarar en la escritura y publicación de este artículo.

7. Referencias bibliográficas

Alvarado, J., Correa, R. y Tituaña, M. del C. (2017). Migración interna y urbanización sin eficiencia en países en desarrollo: Evidencia para Ecuador. *Papeles de Población*, 23(94), 99–123. <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.94.033>

Chaturvedi, V. y de Vries, W. (2021). Machine Learning Algorithms for Urban Land Use Planning: A Review. *Urban Science*, 5(3). <https://doi.org/10.3390/urbansci5030068>

Gallardo, M. (2018). Revisión y análisis de estudios de modelos de cambios de usos del suelo y de escenarios a futuro. *Geographicalia*, (70), 1–26. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2018703278

Gaur, S. y Singh, R. (2023). A Comprehensive Review on Land Use/Land Cover (LULC) Change Modeling for Urban Development: Current Status and Future Prospects. *Sustainability*, 15(2), 903. <https://doi.org/10.3390/su15020903>

Guarderas, P., Smith, F. y Dufrene, M. (2022). Land use and land cover change in a tropical mountain landscape of northern Ecuador: Altitudinal patterns and driving

- forces. *PLOS ONE*, 17(7), e0260191. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260191>
- Hamad, R., Balzter, H. y Kolo, K. (2018). Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model under Two Different Scenarios. *Sustainability*, 10(10), 3421. <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- Humacata, L. (2019). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista Cartográfica*, (98), 239–257. <https://doi.org/10.35424/RCARTO.I98.149>
- Instituto Geográfico Militar. (2013). *Atlas geográfico de la República del Ecuador*. Geoportal. <https://tinyurl.com/mvdb9233>
- Jaraíz, F., Aliseda, J. y Gutiérrez, J. (2012). Cambios de cobertura y uso del suelo en la Raya Central Ibérica. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (60), 507–514. <https://tinyurl.com/ypfnxu35>
- Jaramillo, L. y Antunes, A. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista de Teledetección*, (51), 33–46. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.8995>
- Kang, J., Zhang, B. y Dang, A. (2024). A novel geospatial machine learning approach to quantify non-linear effects of land use/land cover change (LULCC) on carbon dynamics. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 128, 103712. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103712>
- Kleemann, J., Zamora, C., Villacis-Chiluisa, A., Cuenca, P., Koo, H., Noh, J. K., Fürst, C. y Thiel, M. (2022). Deforestation in Continental Ecuador with a Focus on Protected Areas. *Land*, 11(2), 268. <https://doi.org/10.3390/land11020268>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Informe nacional del Ecuador: Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la vivienda y el desarrollo*

urbano. <https://tinyurl.com/yxp3y9u8>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (s.f.). *Mapa Interactivo Ambiental*. <https://tinyurl.com/yuysup6w>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015). *Preparación del reporte nacional revisado y envío a la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación*. <https://tinyurl.com/22z8kz3k>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador: ENCC 2012–2025*. <https://tinyurl.com/bdz7syza>

Mitsuda, Y. y Ito, S. (2011). A review of spatial-explicit factors determining spatial distribution of land use/land-use change. *Landscape and Ecological Engineering*, 7, 117–125. <http://dx.doi.org/10.1007/s11355-010-0113-4>

Mutale, B. y Qiang, F. (2024). Modeling future land use and land cover under different scenarios using patch-generating land use simulation model. A case study of Ndola district. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1362666. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1362666>

Noszczyk, T. (2018). A review of approaches to land use changes modeling. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(6), 1377–1405. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1468994>

Oñate-Valdivieso, F. y Oñate-Paladines, A. (2019). El crecimiento urbano y su influencia en los caudales de crecida: Un caso de estudio en una cuenca urbana en los Andes Ecuatorianos. *Revista Geoespacial*, 16(2), 1–15. <https://doi.org/10.24133/GEOESPACIAL.V16I2.1347>

Pinos-Arévalo, N. (2016). Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial-Caso cantón Cuenca. *Estoa. Journal of the Faculty of Architecture and Urbanism*, 5(9), 7–19. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>

- Principi, N. (2022). Modelado de expansión urbana mediante autómatas celulares y redes neuronales artificiales. *Revista Universitaria de Geografía*, 31(1). <https://doi.org/10.52292/j.rug.2022.31.1.0036>
- Rahnama, M. (2021). Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102548. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102548>
- Reyna, A., Reyna, J. y Vences, C. (2017). Escenarios de crecimiento urbano 2017 y 2022 de la ciudad de Portoviejo, Manabí-Ecuador, a partir de autómatas celulares. *Revista San Gregorio*, (19), 20–33. <https://tinyurl.com/we99255j>
- Sierra, R., Calva, O. y Guevara, A. (2021). *La Deforestación en el Ecuador, 1990–2018: Factores, Promotores y Tendencias Recientes*. Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica y Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://tinyurl.com/5a9d8e4r>
- Universidad del Azuay. (2001). Proyecto de Alianza Estratégica Internacional para la Investigación y Educación Agropecuaria, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA). <https://tinyurl.com/2s4z9at8>
- Villella, M. (2021). *Análisis espacial del crecimiento urbano y cambios de usos del suelo en el partido de Moreno (Provincia de Buenos Aires, Argentina), periodo 1990-2010* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Luján]. Sistema Nacional de Repositorios Digitales
- Wang, J., Bretz, M., Dewan, M. y Delavar, M. (2022). Machine learning in modelling land-use and land cover-change (LULCC): Current status, challenges and prospects. *Science of The Total Environment*, 822, 153559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153559>

Zambrano, M. (2024). La Revolución de la Inteligencia Artificial en los Sistemas de Información Geográfica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 10196–10217. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14405