

Revisión bibliométrica y temática de la clasificación de imágenes satelitales: Avances, aplicaciones y desafíos

Bibliometric and thematic review of satellite image classification: Advances, applications, and challenges

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21167208>

AUTORES:

Oscar Efrén Cárdenas Villavicencio¹

Joofre Antonio Honores Tapia²

Milton Rafael Valarezo Pardo³

Freddy Anibal Jumbo Castillo⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: ocardenas@utmachala.edu.ec

Fecha de recepción: 25 / 01 / 2026

Fecha de aceptación: 26 / 03 / 2026

RESUMEN

La clasificación de imágenes satelitales es una herramienta esencial para analizar la cobertura terrestre, monitorear ecosistemas y apoyar la planificación territorial. Este estudio revisa el estado del arte mediante un enfoque bibliométrico, de tendencias y temático aplicado a 65 estudios recuperados sistemáticamente y procesados con Mendeley y VOSviewer. Se identificaron cuatro ejes: aplicaciones territoriales y ambientales, desarrollo sostenible, tecnologías avanzadas y desafíos metodológicos. Los resultados muestran la relevancia de Sentinel, Landsat y el índice NDVI, así como el crecimiento de machine learning y deep learning para mejorar la automatización y precisión de la clasificación. Los casos de Ecuador,

¹ <https://orcid.org/0000-0001-6570-8040> Universidad Técnica de Machala, ocardenas@utmachala.edu.ec

² <https://orcid.org/0000-0001-8612-3025> Universidad Técnica de Machala, jhonores@utmachala.edu.ec

³ <https://orcid.org/0000-0003-1819-2074> Universidad Técnica de Machala, mvalarezo@utmachala.edu.ec

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-5200-7162> Universidad Técnica de Machala, fjumbo@utmachala.edu.ec

Colombia y Perú evidencian aplicaciones en deforestación, agricultura de precisión y conservación. Persisten limitaciones asociadas con la calidad e interoperabilidad de los datos y la generalización de modelos. La revisión confirma la necesidad de integrar sensores, índices espectrales y métodos de inteligencia artificial con procedimientos reproducibles y adaptados a las condiciones regionales.

Palabras clave: *Aprendizaje automático; clasificación de imágenes; NDVI; sostenibilidad; teledetección.*

ABSTRACT

Satellite image classification is essential for land-cover analysis, ecosystem monitoring, and territorial planning. This study reviews the state of the art through bibliometric, trend, and thematic analyses applied to 65 systematically retrieved studies processed with Mendeley and VOSviewer. Four areas were identified: territorial and environmental applications, sustainable development, advanced technologies, and methodological challenges. The findings highlight Sentinel, Landsat, and NDVI, together with the growing use of machine learning and deep learning to improve automation and classification accuracy. Studies from Ecuador, Colombia, and Peru illustrate applications in deforestation monitoring, precision agriculture, and conservation. Limitations remain regarding data quality, interoperability, and model generalization. The review supports the integration of satellite sensors, spectral indices, and artificial intelligence methods through reproducible procedures adapted to regional conditions.

Keywords: *machine learning; image classification; NDVI; sustainability; remote sensing.*

INTRODUCCIÓN

La clasificación de imágenes satelitales se ha convertido en una herramienta clave para la gestión de recursos naturales y la planificación territorial, contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas en diversos sectores (Anaya & Valencia, 2008). Este campo ha experimentado un crecimiento notable gracias a la evolución de los sensores satelitales, que ofrecen datos de mayor resolución y una cobertura espacial y temporal más extensa (Du et al., 2012; Moskal et al., 2011; Riaño-Cubides, 2022; Verde et al., 2018). Estos avances

permiten monitorear cambios en la cobertura vegetal, identificar tipos de uso de suelo y realizar seguimientos precisos de fenómenos ambientales y productivos, esenciales para el desarrollo sostenible (Fernández-Fierro et al., 2020; Reyna & Gossweiler, 2011).

El interés en optimizar los procesos de clasificación se ha incrementado en los últimos años, impulsado por la disponibilidad de grandes volúmenes de datos y el desarrollo de algoritmos más avanzados. Entre las principales líneas de investigación destacan los algoritmos de aprendizaje automático (machine learning) y aprendizaje profundo (deep learning), que han mejorado la precisión en la segmentación y clasificación (Almasoud et al., 2023; Baquerizo & Vega Ventocilla, 2022; Cheng et al., 2023; Kim et al., 2022; Ouchra et al., 2023).

La integración de inteligencia artificial (IA) ha revolucionado el campo, mejorando la automatización y escalabilidad de los procesos (Patil et al., 2023; Zambrano-Garcia & Vlassova, 2023). Adicionalmente, la integración de índices espectrales, como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), el EVI (Enhanced Vegetation Index) o el SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), ha reforzado la capacidad de análisis al facilitar la discriminación de coberturas de suelo y detectar cambios en la vegetación (Aguilar & Maldonado, 2023; Camas Guardamino & Mamani Sinche, 2022; Fernández-Fierro et al., 2020; Navarro-Ceciliano, 2021; Reyna & Gossweiler, 2011; Rodríguez et al., 2021). Estas técnicas se han adoptado ampliamente en estudios sobre agricultura de precisión, monitoreo forestal y gestión de recursos hídricos, entre otros.

Sin embargo, el conocimiento en torno a la clasificación de imágenes satelitales sigue siendo disperso, con trabajos que abordan problemas específicos sin articular los avances en un marco unificado (Ambrosio-Ambrosio & González-Camacho, 2023; Ávila-Pérez et al., 2020; Perea et al., 2009; Zambrano-Garcia & Vlassova, 2023). Esto dificulta la identificación de tendencias claras de investigación y la comparabilidad de los resultados, limitando el reconocimiento de brechas de conocimiento. En este contexto, surge la necesidad de realizar una revisión del estado del arte que permita organizar, analizar y sintetizar de manera rigurosa la información existente.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: primero, se presenta la metodología empleada para la revisión bibliográfica; luego, se exponen los resultados del análisis

cuantitativo de la literatura, destacando las métricas de publicación y las principales fuentes de información; se presentan los resultados del análisis de tendencias, discutiendo las áreas emergentes; se muestra el análisis temático, agrupando los hallazgos principales y, finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Así, se busca ofrecer una visión actualizada del panorama científico en este campo, contribuyendo a la creación de marcos de referencia más sólidos y a fomentar la colaboración entre investigadores, para resolver los desafíos del análisis de imágenes satelitales (Conde et al., 2009; López-Calderón et al., 2023; Monroy Vásquez, 2011; Remmel et al., 2005).

Este trabajo tiene como objetivo principal analizar la evolución y el panorama actual de la investigación en clasificación de imágenes satelitales, mediante tres enfoques metodológicos complementarios: bibliometría, análisis de tendencias y análisis temático. La bibliometría proporciona herramientas para cuantificar la producción científica, identificar autores influyentes y redes de colaboración, y describir las fuentes más relevantes de información (Costa et al., 2023). El análisis de tendencias permite observar la evolución temporal de las líneas de investigación, detectar áreas emergentes y visibilizar temáticas que están perdiendo relevancia (Alzate & Giraldo, 2023; Tecuapetla-Gómez et al., 2022). Finalmente, el análisis temático proporciona una lectura profunda de los estudios, generando categorías conceptuales que agrupan los hallazgos principales y permiten identificar oportunidades de investigación futura.

METODOLOGÍA

La metodología integra bibliometría, análisis de tendencias y análisis temático para describir la producción científica, la evolución de los términos y el contenido de los estudios seleccionados (Alzate & Giraldo, 2023; Costa et al., 2023).

La bibliometría cuantifica la producción y las relaciones entre términos; el análisis de tendencias distingue líneas emergentes y consolidadas; y el análisis temático interpreta técnicas, aplicaciones y limitaciones. Su integración evita reducir la revisión a frecuencias aisladas y permite relacionar los indicadores cuantitativos con el contenido técnico de los estudios.

El proceso se organizó en cinco fases: recopilación de literatura; exploración cuantitativa con VOSviewer; análisis temporal de términos; categorización cualitativa; e integración de resultados. La Figura 1 resume la secuencia y la relación entre las tres metodologías (Bukar et al., 2023; van Eck & Waltman, 2010).

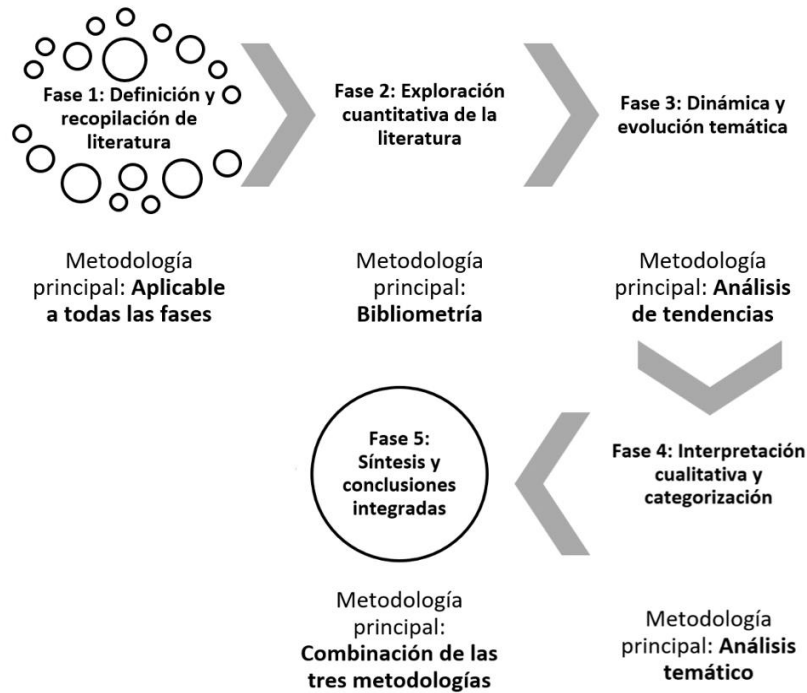


Figura 1. Fases de la metodología.

Fuente: Los autores.

2.1. Definición y recopilación de literatura

Se incluyeron artículos revisados por pares, publicados en inglés o español entre 2015 y 2025, centrados en clasificación de imágenes satelitales, teledetección, métodos de clasificación o aplicaciones territoriales. Se excluyeron trabajos tangenciales, tesis, informes técnicos y literatura gris; la Tabla 1 sintetiza los criterios.

La búsqueda se efectuó en Scopus, Web of Science y Google Scholar mediante términos en inglés y español, entre ellos satellite image classification, remote sensing, land cover mapping, machine learning, deep learning y NDVI. Tras aplicar filtros de idioma, periodo y tipo documental, se revisaron títulos, resúmenes y palabras clave.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión.

Criterio	Descripción
Inclusión	Artículos científicos revisados por pares.
	Estudios enfocados en clasificación de imágenes satelitales y teledetección.
	Publicaciones entre 2015 y 2025.
	Idioma: inglés o español.
Exclusión	Trabajos sin un enfoque claro en clasificación de imágenes satelitales.
	Estudios que sólo mencionan tangencialmente el tema o carecen de validez académica.
	Tesis, informes técnicos y literatura gris no revisada por pares.

Fuente: Los autores.

2.1.1. Estrategia de búsqueda, depuración y reproducibilidad del corpus

La estrategia se documentó mediante ecuaciones booleanas específicas para cada base de datos y filtros comunes de idioma, periodo y revisión por pares. La Tabla 2 presenta las expresiones utilizadas y favorece la trazabilidad de la recuperación documental.

Tabla 2. Ecuaciones de búsqueda empleadas en la recopilación de literatura.

Base de datos	Ecuación de búsqueda aplicada	Filtros utilizados
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("satellite image classification" OR "remote sensing" OR "land cover mapping") AND ("machine learning" OR "deep learning" OR "NDVI")	Artículos científicos, idioma inglés o español, periodo 2015-2025.
Web of Science	TS=("satellite image classification" OR "remote sensing" OR "land cover mapping") AND TS=("machine learning" OR "deep learning" OR "vegetation index" OR "NDVI")	Artículos científicos, idioma inglés o español, periodo 2015-2025.
Google Scholar	("clasificación de imágenes satelitales" OR "satellite image classification" AND "teledetección" OR "remote sensing" AND "machine learning" OR "NDVI")	Documentos académicos revisados por pares o publicaciones científicas pertinentes al tema central, en idioma inglés o español.

Fuente: Los autores.

La depuración comprendió eliminación de duplicados en Mendeley, revisión de títulos, resúmenes y palabras clave, evaluación de elegibilidad y aplicación final de los criterios de inclusión. Las cuatro etapas se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Proceso de depuración del corpus documental.

Etapa	Procedimiento aplicado	Resultado esperado
Identificación	Búsqueda booleana en Scopus, Web of Science y Google Scholar.	Registros potencialmente pertinentes.
Depuración	Eliminación de documentos duplicados.	Corpus documental sin registros repetidos.
Elegibilidad	Revisión de títulos, resúmenes y palabras clave.	Estudios relacionados directamente con el tema.
Inclusión	Aplicación de criterios de idioma, periodo 2015-2025 y revisión por pares.	Corpus final de estudios analizados.

Fuente: Los autores.

El corpus seleccionado se organizó en Mendeley, se exportó en formato RIS y se importó en VOSviewer. El análisis de co-ocurrencia utilizó términos de títulos y resúmenes; se eliminaron expresiones genéricas y se unificaron equivalentes como NDVI y normalized difference vegetation index. La Tabla 4 resume el procedimiento reproducible.

Tabla 4. Procedimientos reproducibles del análisis bibliométrico.

Fase	Herramienta utilizada	Procedimiento
Gestión bibliográfica	Mendeley	Organización, depuración y exportación del corpus en formato RIS.
Análisis bibliométrico	VOSviewer	Análisis de co-ocurrencia de términos en títulos y resúmenes.
Normalización de términos	VOSviewer y revisión manual de términos	Exclusión de términos genéricos y unificación de expresiones equivalentes.
Interpretación temática	Revisión cualitativa	Agrupación de los hallazgos en categorías conceptuales.

Fuente: Los autores.

La especificación de fuentes, filtros, depuración, normalización y herramientas permite contrastar y repetir el procedimiento en futuras revisiones.

2.2. Exploración cuantitativa de la literatura

La exploración cuantitativa se realizó sobre 65 referencias seleccionadas mediante términos como clasificación de imágenes satelitales, image classification, NDVI, land use y machine learning.

Las referencias se organizaron y depuraron en Mendeley, se exportaron en formato RIS y se analizaron en VOSviewer (Gioia & Danese, 2022; López-Calderón et al., 2023; Rodríguez et al., 2021; Tecuapetla-Gómez et al., 2022; van Eck & Waltman, 2010).

El análisis de co-ocurrencia se basó en títulos y resúmenes. La eliminación de términos genéricos y la normalización de equivalencias redujeron duplicidades y facilitaron la identificación de relaciones temáticas.

Se identificaron cuatro clústeres. Los términos algorithm, accuracy, artificial intelligence, machine learning y NDVI reflejan el interés por la automatización y el análisis de vegetación; agriculture, land use y environmental degradation representan las aplicaciones territoriales y ambientales.

La producción aumentó desde 2017, con mayor presencia de inteligencia artificial y teledetección. La Tabla 5 resume las palabras clave y su año promedio de publicación.

Tabla 5. Palabras clave y año promedio de publicación.

Clúster temático	Palabra clave	Año promedio de publicación
Algoritmos	Machine Learning	2020
	Artificial Intelligence	2021
	Accuracy	2019
Índices de vegetación	NDVI	2018
	Vegetation Index	2019
Aplicaciones territoriales	Agriculture	2017
	Land Use	2017
	Environmental Degradation	2018

Fuente: Los autores.

La Figura 2 sintetiza el flujo desde la búsqueda bibliográfica hasta la identificación de clústeres.

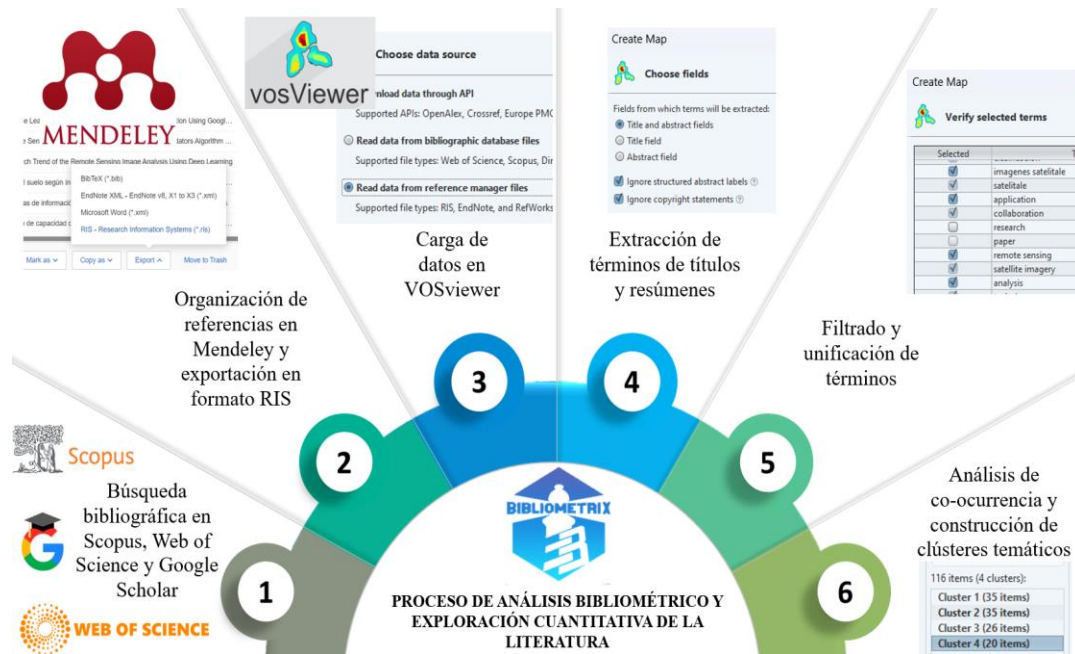


Figura 2. Flujo de trabajo para la exploración cuantitativa de la literatura.

Fuente: Los autores.

Esta fase permitió reconocer temas consolidados, líneas emergentes y áreas con menor desarrollo, que orientaron el análisis temporal y cualitativo posterior.

2.3. Dinámica y evolución temática

La evolución temática se examinó mediante el mapa de co-ocurrencia y la visualización temporal de VOSviewer, que ordena los términos según su año promedio de publicación.

Desde 2018 creció la presencia de machine learning y artificial intelligence, junto con NDVI y vegetation index en monitoreo ambiental y agricultura de precisión.

Land use y environmental degradation mostraron una dinámica más estable, propia de líneas consolidadas (Nádudvari et al., 2021; Shugar et al., 2019). La Tabla 6 compara el dinamismo y el periodo de cada línea.

Tabla 6. Análisis de tendencias de las principales líneas de investigación.

Línea de investigación	Dinamismo observado	Año promedio de publicaciones	Observaciones principales
Machine Learning	Alta dinámica	2020-2024	Crecimiento sostenido en aplicaciones de clasificación automatizada y algoritmos avanzados.
Artificial Intelligence	Alta dinámica	2023-2025	Aplicaciones recientes en clasificación, segmentación y mejora de precisión.
NDVI y Vegetation Index	Moderada-alta dinámica	2018-2021	Uso extendido en estudios de monitoreo agrícola y ambiental.
Land Use	Dinámica estable	2018-2020	Línea consolidada, con aplicaciones constantes en planificación territorial.
Environmental Degradation	Dinámica estable	2018-2021	Temática vinculada a monitoreo de impactos y cambios ambientales.

Fuente: Los autores.

2.4. Interpretación cualitativa y categorización

La revisión cualitativa de títulos, resúmenes y secciones metodológicas permitió organizar los estudios en cuatro categorías: desarrollo de algoritmos, validación de resultados, aplicaciones territoriales y ambientales, y desafíos técnicos. La Tabla 7 presenta las palabras clave y el alcance de cada grupo.

Tabla 7. Categorías conceptuales y palabras clave relevantes.

Categoría	Palabras clave asociadas	Comentarios principales
Desarrollo de algoritmos	Machine Learning, Artificial Intelligence	Mayor atención a modelos avanzados de clasificación.
Validación y evaluación	Accuracy, Validation, Performance Metrics	Interés en comparar metodologías y asegurar resultados fiables.
Aplicaciones territoriales y ambientales	NDVI, Vegetation Index, Agriculture, Land Use	Uso práctico en monitoreo agrícola y planificación territorial.
Desafíos y limitaciones técnicas	Spatial Resolution, Data Quality	Problemas con la resolución de imágenes y disponibilidad de datos.

Fuente: Los autores.

La categorización relacionó los patrones bibliométricos con los contenidos de los estudios y permitió identificar áreas consolidadas y oportunidades de investigación.

2.5. Síntesis y conclusiones integradas

La integración de las tres metodologías muestra un campo en maduración: machine learning y artificial intelligence concentran la dinámica reciente, mientras land use y environmental degradation mantienen una presencia estable. Las cuatro categorías temáticas articulan avances algorítmicos, validación, aplicaciones territoriales y limitaciones técnicas (Li et al., 2021; Poveda-Sotelo et al., 2022; Riaño-Cubides, 2022; Chuquibala Castro, 2022; Doumet Chilán et al., 2021).

La Figura 3 integra las fases metodológicas y los hallazgos principales.

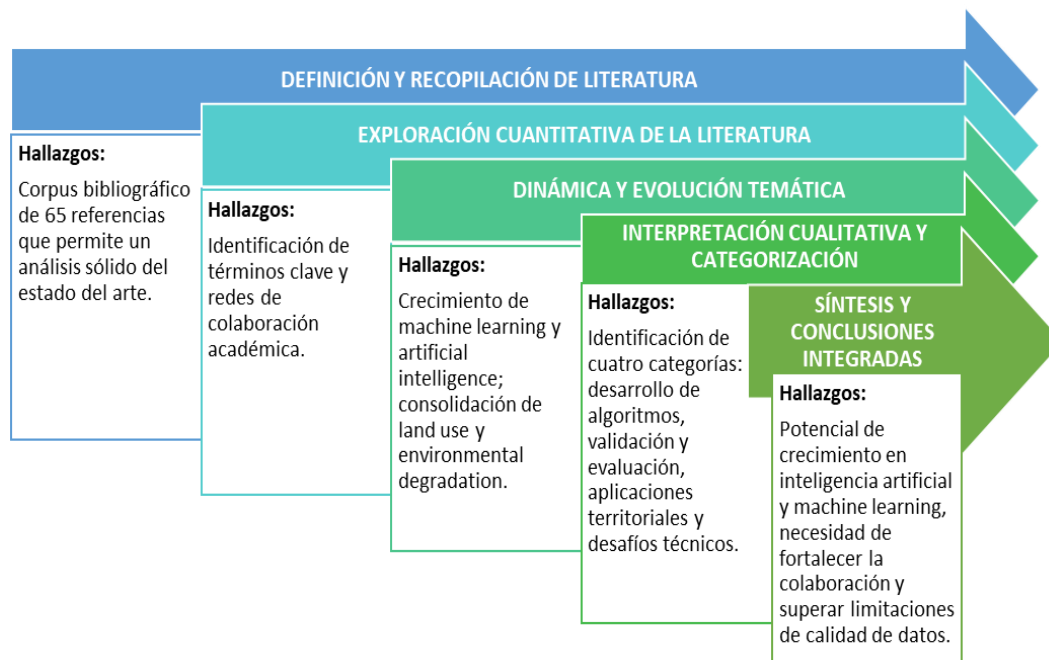


Figura 3. Integración metodológica y hallazgos clave en la clasificación de imágenes satelitales.

Fuente: Los autores.

En conjunto, la literatura confirma el potencial de la clasificación satelital para la gestión ambiental, la planificación territorial y la agricultura de precisión, aunque persisten limitaciones relacionadas con datos, resolución y generalización de modelos.

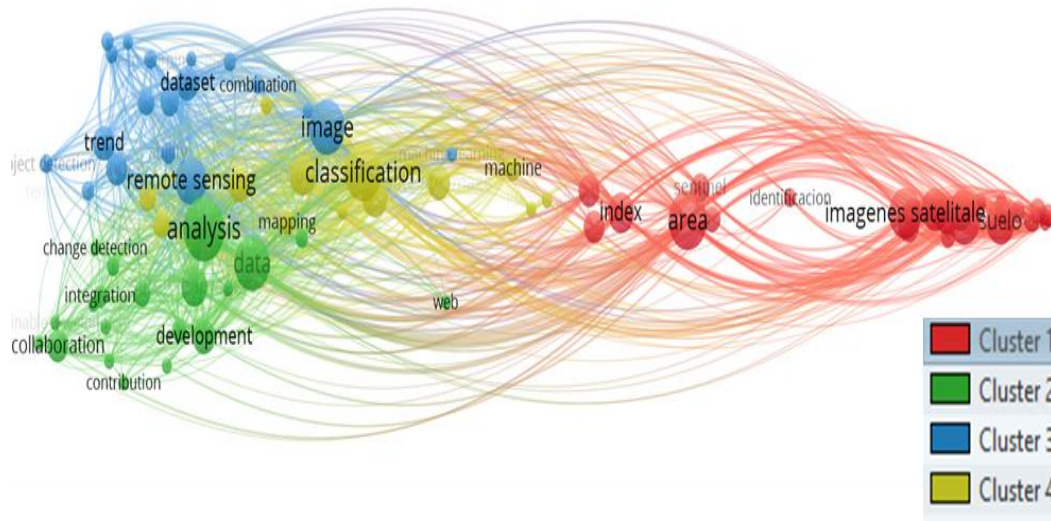


Figura 5. Mapa temático con agrupaciones principales.

Fuente: Generada con VOSviewer.

Las aplicaciones territoriales utilizan Sentinel, Landsat y análisis multiespectral para cobertura vegetal, cultivos y conservación; el desarrollo sostenible enfatiza integración de datos y colaboración. Los modelos avanzados mejoran la automatización, mientras los desafíos se concentran en calidad de datos, validación y generalización (Ávila-Pérez et al., 2020; Franco-Arciniegas & Díaz-Perdomo, 2023).

Tabla 8. Detalle de Agrupaciones Temáticas en Clasificación de Imágenes Satelitales.

Área Temática	Número de Términos	Descripción	Términos Principales	Aplicaciones Clave
Aplicaciones Territoriales y Ambientales	32	Gestión territorial y monitoreo ambiental.	NDVI, Sentinel, Landsat, deforestación, Ecuador, Colombia y Perú.	Monitoreo, planificación territorial y análisis de cultivos.
Desarrollo Sostenible y Colaboración	20	Sostenibilidad e integración científica.	Sustainable development, environmental degradation, collaboration y remote sensing.	Cambio climático, gestión ambiental y estudios interdisciplinarios.
Tecnologías y Modelos Avanzados	19	Clasificación automatizada mediante IA.	Deep learning, machine learning, image classification y dataset.	Clasificación multiespectral y mejora de la precisión.
Metodologías y Desafíos Técnicos	14	Validación y limitaciones metodológicas.	Accuracy, algorithm, artificial intelligence, SVM y NDVI.	Optimización, calidad de datos y generalización.

Fuente: Los autores.

La Tabla 8 compara el número de términos, el enfoque y las aplicaciones de cada agrupación.

Sensores y Plataformas: Sentinel y Landsat

Sentinel y Landsat constituyen las principales plataformas del corpus por su relación con teledetección, clasificación e índices espectrales.

- Sentinel aporta alta frecuencia, resolución y acceso abierto, por lo que se utiliza en monitoreo de cultivos, deforestación y conservación (Ávila-Pérez et al., 2020; López-Calderón et al., 2023; Ouchra et al., 2023).

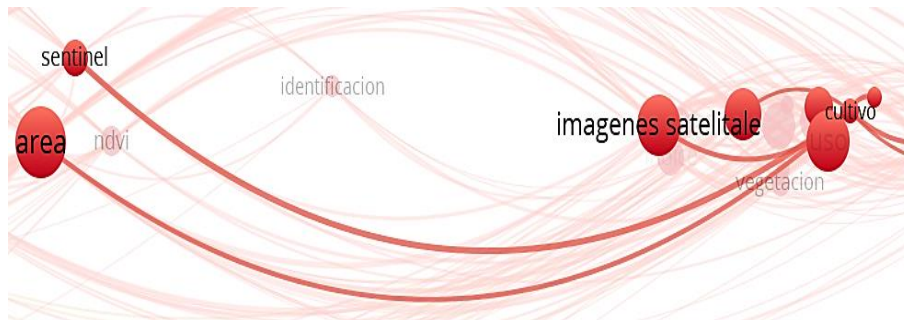


Figura 6. Relación entre artículos de análisis de cultivo y el uso de imágenes Sentinel.

Fuente: Generada con VOSviewer.

- Landsat ofrece series históricas extensas para estudiar cambios de uso del suelo, cobertura vegetal y dinámica regional (Ávila-Pérez et al., 2020; Nádudvari et al., 2021).
- La combinación de ambas plataformas con clasificación supervisada y NDVI favorece análisis multitemporales de planificación territorial, agricultura y gestión ambiental.

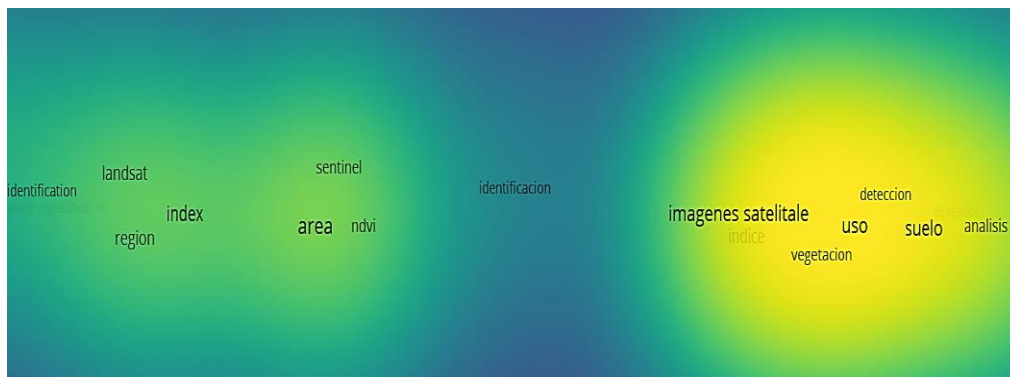


Figura 7. Vista del Cluster 1 en Density Visualization.

Fuente: Generada con VOSviewer.

La visualización de densidad sitúa classification y remote sensing como términos centrales; Sentinel y NDVI presentan menor densidad, pero una presencia creciente en aplicaciones específicas.

Desarrollo Sostenible, Innovación Tecnológica y Desafíos Metodológicos

El análisis relaciona desarrollo sostenible, innovación tecnológica y desafíos metodológicos. Los términos sustainable development, environmental degradation y collaboration muestran el valor de la teledetección para la gestión ambiental y el intercambio de datos.

La Figura 8 muestra la conexión entre estas líneas y conceptos como publication, data e integration.

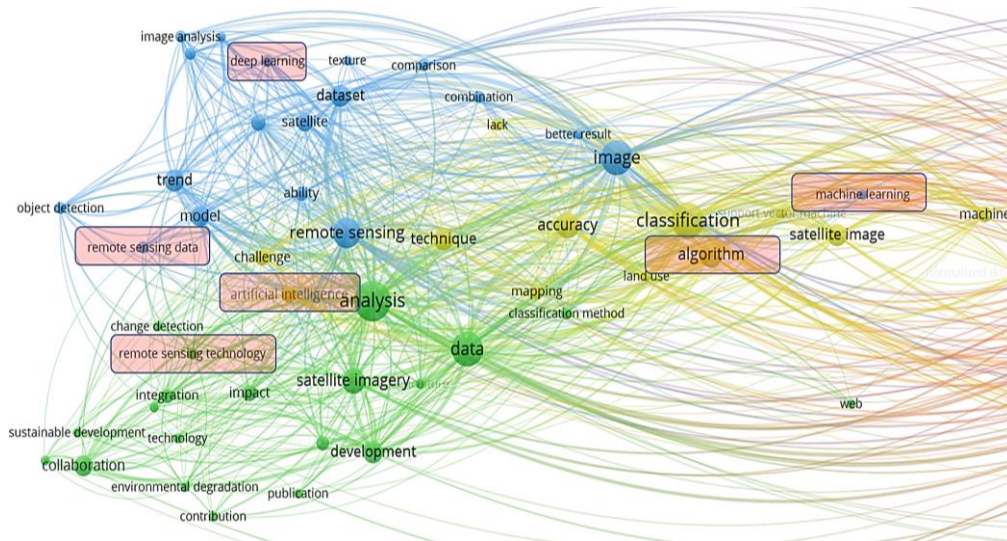


Figura 8. Tendencias en clasificación de imágenes satelitales.

Fuente: Generada con VOSviewer.

Deep learning, machine learning e image classification representan la innovación reciente; dataset, model y combination subrayan la necesidad de datos fiables. A la vez, accuracy, algorithm y challenge evidencian problemas de validación, disponibilidad y generalización.

Aplicaciones Territoriales en Ecuador, Colombia y Perú

La Figura 9 evidencia un núcleo regional en Ecuador, Colombia y Perú, asociado con deforestación, cultivos, suelo y territorio en la región andino-amazónica.

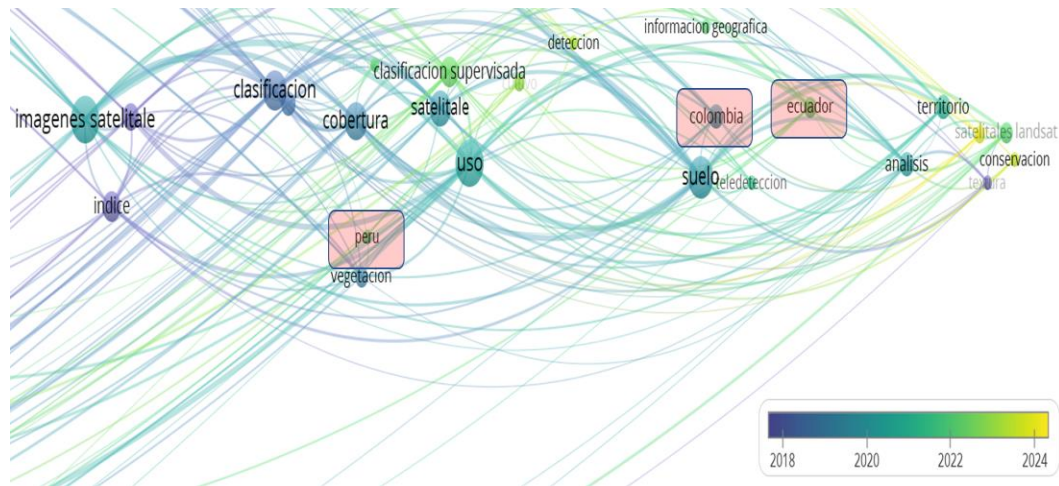


Figura 9. Aplicaciones Territoriales en Ecuador, Colombia y Perú.

Fuente: Generada con VOSviewer.

En Ecuador predominan la conservación y el monitoreo con NDVI y Sentinel; en Colombia, Landsat se aplica a agricultura de precisión y suelos; y en Perú, Sentinel y Landsat apoyan la evaluación de deforestación y bosques amazónicos.

La comparación regional muestra diferencias de énfasis, pero también una base tecnológica común. Ecuador prioriza ecosistemas y áreas protegidas; Colombia vincula las series Landsat con productividad agrícola y manejo de suelos; y Perú utiliza datos multitemporales para localizar frentes de deforestación y evaluar cambios en la Amazonía. En los tres casos, la combinación de clasificación supervisada, índices de vegetación y validación de campo mejora la interpretación territorial, aunque la resolución espacial, la nubosidad y la disponibilidad de muestras de entrenamiento continúan condicionando los resultados.

Estos casos muestran cómo los índices espectrales y las series satelitales pueden adaptarse a prioridades locales de conservación, producción y planificación.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación resaltan la convergencia entre innovación tecnológica, aplicaciones prácticas y desafíos metodológicos en el campo de la clasificación de imágenes satelitales. Este enfoque interdisciplinario es esencial para abordar problemas ambientales y sociales complejos, al tiempo que permite aprovechar al máximo las capacidades de las tecnologías avanzadas de teledetección.

El uso de herramientas como machine learning y deep learning se ha consolidado como una tendencia emergente que transforma los métodos tradicionales de clasificación. Estas tecnologías no solo incrementan la precisión y automatización de los análisis, sino que también amplían las aplicaciones prácticas, como el monitoreo agrícola, la detección de cambios en la cobertura terrestre y la gestión de recursos naturales (Quezada et al., 2022). Sin embargo, la dependencia de datos de alta calidad y las limitaciones para generalizar modelos destacan como retos persistentes. Estos problemas subrayan la necesidad de desarrollar bases de datos más completas y accesibles, así como metodologías más robustas que garanticen resultados confiables en diversos contextos.

En el ámbito regional, la investigación en países como Ecuador, Colombia y Perú muestra cómo las tecnologías de clasificación pueden adaptarse a problemas específicos. Por ejemplo, el uso de índices como NDVI y datos de plataformas como Sentinel y Landsat ha permitido monitorear dinámicas de deforestación, optimizar prácticas agrícolas y planificar estrategias de conservación en la región andino-amazónica. Estas aplicaciones reflejan un uso eficiente de la tecnología global adaptada a las necesidades locales, lo que refuerza la relevancia de enfoques regionalizados en la investigación (Anaya & Valencia, 2008; Baquerizo & Vega Ventocilla, 2022; Quezada et al., 2022).

La discusión también destaca cómo las plataformas satelitales han logrado integrar técnicas avanzadas de análisis, como la clasificación supervisada, con índices espectrales para resolver problemas críticos de monitoreo ambiental (Harsh et al., 2023; Pech May et al., 2023; Poveda-Sotelo et al., 2022). No obstante, persisten barreras en términos de interoperabilidad de datos, colaboración interdisciplinaria y costos de implementación, especialmente en países en desarrollo. Estos factores limitan el acceso equitativo a tecnologías avanzadas y la capacidad de escalar soluciones a nivel global.

En general, la clasificación de imágenes satelitales es un campo en transición que equilibra la consolidación de enfoques tradicionales con la adopción de innovaciones tecnológicas. Este equilibrio es fundamental para continuar avanzando en la resolución de problemas globales y locales, pero requiere esfuerzos conjuntos entre investigadores, instituciones y gobiernos para superar barreras y maximizar el impacto de las tecnologías disponibles.

Las Figuras 10 a 14 complementan la discusión con indicadores temáticos, temporales, editoriales y territoriales.

Temática	Número de citas
Aplicaciones territoriales y ambientales	19
Sensores y plataformas satelitales	12
Metodología bibliométrica y análisis de literatura	12
Aprendizaje automático, deep learning e IA	10
Índices de vegetación y NDVI	8
Desafíos, validación y limitaciones técnicas	2

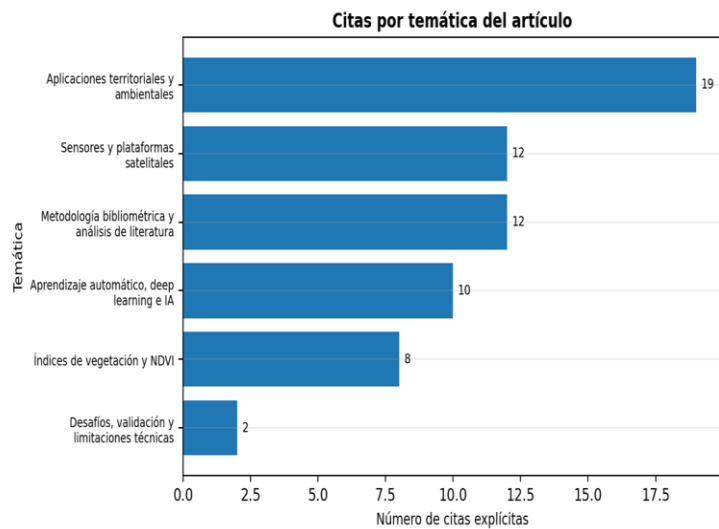


Figura 10. Citas por temática del artículo.

Fuente: Los autores.

La Figura 10 concentra 19 citas en aplicaciones territoriales y ambientales y solo 2 en desafíos técnicos, lo que confirma el predominio aplicado y la necesidad de reforzar la discusión metodológica.

Año	Número de citas
2005	1
2008	2
2009	2
2010	2
2011	4
2012	1
2018	2
2019	1
2020	6
2021	7
2022	15
2023	20

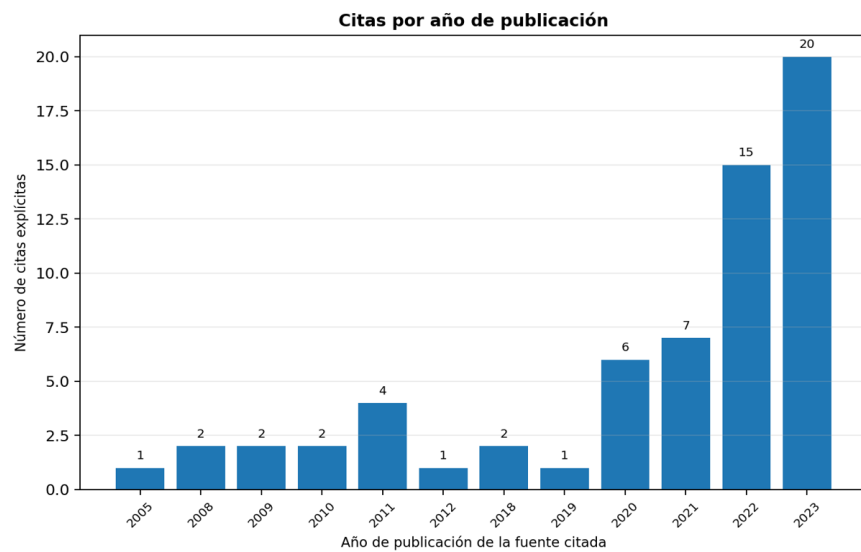


Figura 11. Citas por año de publicación de las fuentes citadas.

Fuente: Los autores.

La Figura 11 concentra la mayor parte de las citas en 2022 y 2023; las fuentes anteriores a 2015 cumplen una función histórica o metodológica.

Revista o fuente	Número de registros
Revista de Teledetección	2
Remote Sensing	1
IEEE Access	1
Remote Sensing of Environment	1
Land	1
Scientometrics	1
Korean Journal of Remote Sensing	1
Forest Ecology and Management	1
Journal of Maps	1
Revista Geográfica de América Central	1

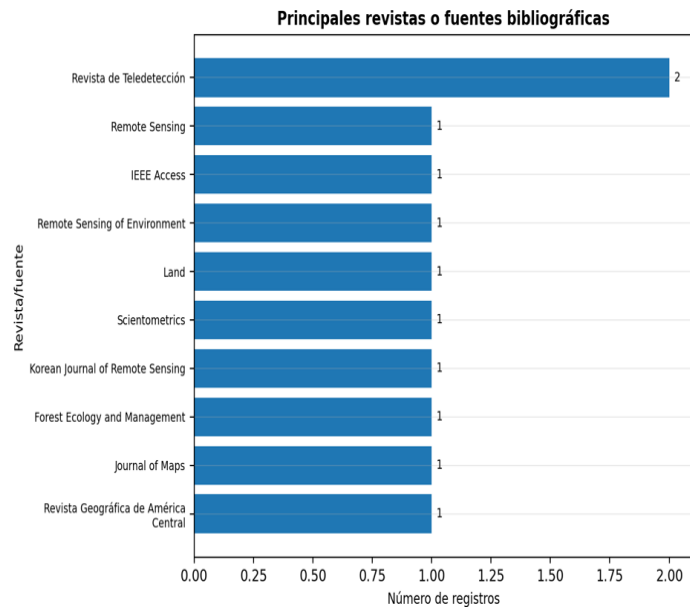


Figura 12. Principales revistas o fuentes bibliográficas identificadas.

Fuente: Los autores.

La Figura 12 muestra una procedencia editorial dispersa: Revista de Teledetección reúne 2 registros y las demás fuentes aparecen una vez.

País o región	Frecuencia de mención
Ecuador	18
Perú	17
Colombia	14
México	3
Canadá	3
Costa Rica	2
Polonia/Ucrania	2
Marruecos	1
China	1
Corea	1

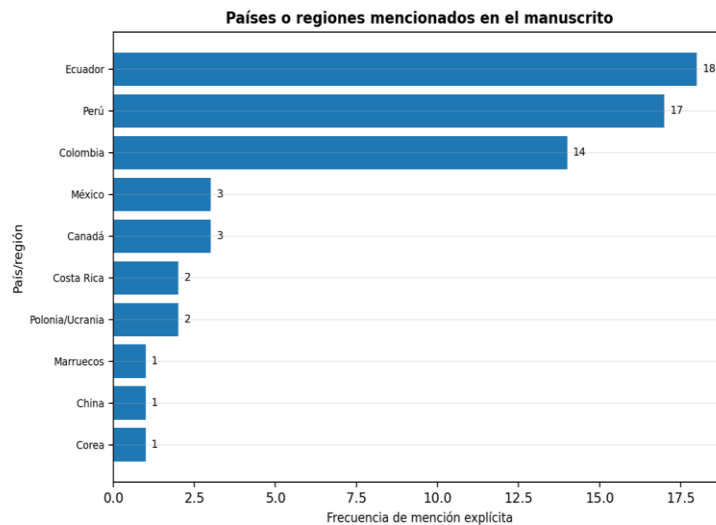


Figura 13. Países o regiones mencionados en el manuscrito.

Fuente: Los autores.

La Figura 13 confirma la mayor presencia temática de Ecuador, Perú y Colombia, coherente con el enfoque latinoamericano del estudio.

Indicador	Valor
Estudios declarados en el corpus del artículo	65
Referencias bibliográficas visibles en el manuscrito	40
Citas explícitas autor-año contabilizadas	63
Clústeres temáticos identificados en VOSviewer	4
Categorías conceptuales del análisis temático	4
Áreas temáticas principales	4
Bases de datos declaradas	3
Herramientas declaradas: Mendeley y VOSviewer	2

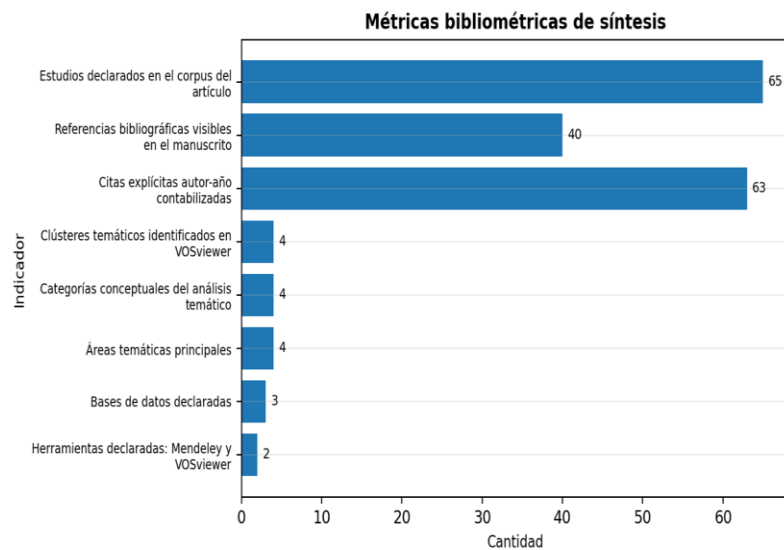


Figura 14. Métricas bibliométricas de síntesis.

Fuente: Los autores.

La Figura 14 resume el corpus, las referencias, las citas y los recursos metodológicos. La diferencia entre 65 estudios declarados y 40 referencias visibles debe aclararse mediante la matriz bibliográfica final.

CONCLUSIONES

El análisis realizado permitió identificar cómo la clasificación de imágenes satelitales ha evolucionado hacia un enfoque más integrado, donde tecnologías avanzadas, aplicaciones regionales y desafíos metodológicos se entrelazan para abordar problemas ambientales y sociales. Este campo, caracterizado por su dinamismo, ha demostrado ser esencial para la planificación territorial, el monitoreo de ecosistemas y el desarrollo sostenible, especialmente en regiones sensibles como la Amazonía.

La incorporación de sensores como Sentinel y Landsat, combinados con índices espectrales como NDVI, ha sido determinante para la consolidación de proyectos que requieren análisis de largo plazo y alta resolución. Estas herramientas han permitido no solo el monitoreo continuo de cambios de cobertura, sino también el diseño de estrategias de conservación y manejo sostenible de recursos naturales.

A nivel regional, los estudios en Ecuador, Colombia y Perú subrayan la importancia de adaptar tecnologías globales a problemáticas locales. La capacidad de estas tecnologías para abordar cuestiones específicas como la deforestación, la agricultura de precisión y la conservación de ecosistemas pone de manifiesto su relevancia en la gestión ambiental y el desarrollo territorial en América Latina.

Sin embargo, el acceso desigual a tecnologías avanzadas, la limitada interoperabilidad de datos y las dificultades para generalizar modelos continúan siendo barreras importantes. Estas limitaciones resaltan la necesidad de fortalecer la colaboración científica, fomentar el desarrollo de bases de datos regionales y promover políticas que faciliten el acceso a herramientas tecnológicas para un uso equitativo y eficiente.

En síntesis, el potencial de la clasificación de imágenes satelitales radica en su capacidad para integrar enfoques tradicionales con innovaciones tecnológicas y adaptarse a contextos específicos. Su futuro depende de la superación de barreras metodológicas y de la capacidad de las instituciones para impulsar estrategias que combinen sostenibilidad, accesibilidad y precisión. Esto permitirá que este campo continúe evolucionando y contribuyendo significativamente a la solución de problemas globales y locales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, G., & Maldonado, Á. (2023). Identificación de las zonas de riesgo por deslizamientos de laderas debido a la saturación de suelos en la microcuenca del río Mariño, Abancay Apurímac. *Revista Ingeniería UC*, 30(1).

<https://doi.org/10.54139/revinguc.v30i1.347>

Almasoud, A. S., Mengash, H. A., Saeed, M. K., Alotaibi, F. A., Othman, K. M., & Mahmud, A. (2023). Remote Sensing Imagery Data Analysis Using Marine Predators Algorithm with Deep Learning for Food Crop Classification. *Biomimetics*, 8(7), 535.

<https://doi.org/10.3390/biomimetics8070535>

Alzate, P., & Giraldo, D. (2023). Tendencias de investigación del blockchain en la cadena de suministro: transparencia, trazabilidad y seguridad. *Revista Universidad y Empresa*, 25(44). <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12451>

- Ambrosio-Ambrosio, J. P., & González-Camacho, J. M. (2023). Algoritmos de aprendizaje automático para clasificar zonas de inundación a partir de imágenes de radar de apertura sintética. *Tecnología y ciencias del agua*, 14(4).
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-04-03>
- Anaya, J. A., & Valencia, G. (2008). Análisis de textura en imágenes de satélite en el ámbito de la biodiversidad y la estructura en un bosque de los Andes Colombianos. *Gestión y Ambiente*, 11(3).
- Ávila-Pérez, I. D., Ortiz-Malavassi, E., Soto-Montoya, C., Vargas-Solano, Y., Aguilar-Arias, H., & Miller-Granados, C. (2020). Evaluación de cuatro algoritmos de clasificación de imágenes satelitales Landsat-8 y Sentinel-2 para la identificación de cobertura boscosa en paisajes altamente fragmentados en Costa Rica. *Revista de Teledetección*, (57), 37. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13340>
- Baquerizo, N. C., & Vega Ventocilla, E. J. (2022). Evaluación de algoritmos de machine learning en la clasificación de imágenes satelitales multispectrales, caso: Amazonia Peruana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4946–4963. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1843
- Bukar, U. A., Sayeed, M. S., Razak, S. F. A., Yogarayan, S., Amodu, O. A., & Mahmood, R. A. R. (2023). A method for analyzing text using VOSviewer. *MethodsX*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102339>
- Camas Guardamino, D. J., & Mamani Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1). <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.3>
- Cheng, X., Sun, Y., Zhang, W., Wang, Y., Cao, X., & Wang, Y. (2023). Application of Deep Learning in Multitemporal Remote Sensing Image Classification. In *Remote Sensing* (Vol. 15, Number 15). <https://doi.org/10.3390/rs15153859>

- Chuquibala Castro, E. M. (2022). Análisis multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Yambrasbamba, Amazonas, Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 4(3). <https://doi.org/10.25127/ucni.v4i3.803>
- Conde, M., Perelman, S., & Cerezo, A. (2009). Efecto de diferentes métodos de clasificación de imágenes satelitales sobre índices de paisaje. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*, (32).
- Costa, D. P., Herrmann, S. M., Vasconcelos, R. N., Duverger, S. G., Franca Rocha, W. J. S., Cambuí, E. C. B., Lobão, J. S. B., Santos, E. M. R., Ferreira-Ferreira, J., Oliveira, M., Barbosa, L. da S., Cunha Lima, A. T., & Lentini, C. A. D. (2023). Bibliometric Analysis of Land Degradation Studies in Drylands Using Remote Sensing Data: A 40-Year Review. In *Land* (Vol. 12, Number 9). <https://doi.org/10.3390/land12091721>
- Doumet Chilán, Y., Cruz Romero, B., & Mendoza Montesdeoca, I. (2021). Sistemas de información geográfica para diagnósticos turísticos territoriales. *Sosquua*, 3(2). <https://doi.org/10.52948/sosquua.v3i2.518>
- Du, P., Xia, J., Zhang, W., Tan, K., Liu, Y., & Liu, S. (2012). Multiple classifier system for remote sensing image classification: A review. *Sensors*, 12(4), 4764–4792. <https://doi.org/10.3390/s120404764>
- Fernández-Fierro, A. A., Rosero-Erazo, C. R., Beltrán-Dávalos, A. A., & Echeverría-Guadalupe, M. M. (2020). Caracterización y dinámica de la cobertura de suelo mediante Teledetección: caso de estudio volcán Tungurahua, Ecuador. *Domino de Las Ciencias*, 6(2).
- Franco-Arciniegas, V., & Díaz-Perdomo, J. (2023). Patrones espacio-temporales asociados a características del sedimento respecto a la disponibilidad de áreas de anidación para tres especies de tortugas el Amazonas colombo-peruano. *Revista Cartográfica*, (107). <https://doi.org/10.35424/rcarto.i107.3373>

- Gioia, D., & Danese, M. (2022). Spatial Analysis for Landscape Changes. In *Spatial Analysis for Landscape Changes*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-2863-2>
- Harsh, P., Hachinger, S., Derquennes, M., Edmonds, A., Karagoz, P., Golasowski, M., Hayek, M., & Martinovič, J. (2023). Wine in the Cloud, or: Smart Vineyards with a Distributed “Extreme Data Database” and Supercomputing. *Proceedings of Science*, 434. <https://doi.org/10.22323/1.434.0021>
- Kim, H., Kim, M., & Lee, Y. (2022). Research Trend of the Remote Sensing Image Analysis Using Deep Learning. In *Korean Journal of Remote Sensing* (Vol. 38, Numbers 5–3). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.5.3.2>
- Li, B., Xie, X., Wei, X., & Tang, W. (2021). Ship detection and classification from optical remote sensing images: A survey. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(3), 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.09.022>
- López-Calderón, M. J., Estrada-Ávalos, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Trucíos-Caciano, R., & Miguel-Valle, E. (2023). Nitrógeno total en maíz forrajero (*Zea mays* L.) estimado mediante índices espectrales con el satélite Sentinel-2. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1628>
- Monroy Vásquez, J. O. (2011). Minería de datos con conjuntos aproximados para clasificación de imágenes satelitales (Data Mining with Rough Sets for Classification of Satellite Images). *Ventana Informatica*, (25). <https://doi.org/10.30554/ventanainform.25.113.2011>
- Moskal, L. M., Styers, D. M., & Halabisky, M. (2011). Monitoring urban tree cover using object-based image analysis and public domain remotely sensed data. *Remote Sensing*, 3(10), 2243–2262. <https://doi.org/10.3390/rs3102243>
- Nádudvari, Á., Abramowicz, A., Fabiańska, M., Misz-Kennan, M., & Ciesielczuk, J. (2021). Classification of fires in coal waste dumps based on Landsat, Aster thermal bands and thermal camera in Polish and Ukrainian mining regions. *International*

Journal of Coal Science and Technology, 8(3). <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00375-4>

Navarro-Ceciliano, O. (2021). Estudio de capacidad de acogida del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(67). <https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.6>

Ouchra, H., Belangour, A., & Erraissi, A. (2023). Machine Learning Algorithms for Satellite Image Classification Using Google Earth Engine and Landsat Satellite Data: Morocco Case Study. *IEEE Access*, 11, 71127–71142. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3293828>

Patil, Prof. M. R., Shirashyad, Prof. V. V, Pandhare, Prof. P. S., & Ishwargond, Prof. S. M. (2023). An Overview of Sustainable Development Applications Using Artificial Intelligence and Remote Sensing in Urban Planning. *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 07(10), 1–11. <https://doi.org/10.55041/IJSREM26160>

Pech May, F., Magaña Govea, J., López Gómez, L. A., & Ríos Toledo, G. (2023). Plataforma de IA UNAM-HUAWEI para el mapeo de inundaciones mediante imágenes satelitales. *TIES, Revista de Tecnología e Innovación en Educación Superior*, (8), 1–7. <https://doi.org/10.22201/dgtic.26832968e.2023.8.5>

Perea, A. J., Meroño, J. E., & Aguilera, M. J. (2009). Algoritmos de clasificación experta aplicados en imágenes satelitales quickbird para el mapeo de la cobertura de la tierra. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000300013>

Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., & Gil-Leguizamón, P. (2022). Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio-temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, Cordillera Oriental de Colombia. *Boletín de Geología*, 44(2), 51–72. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022002>

- Quezada, A. S., Sevilla Tapia, J. D., & Avilés Sacoto, E. C. (2022). Estimación de la tasa de deforestación en Pastaza y Orellana- Ecuador mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales durante el período 2000-2020. *Revista Alfa*, 6(17). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.168>
- Remmel, T. K., Csillag, F., Mitchell, S., & Wulder, M. A. (2005). Integration of forest inventory and satellite imagery: A Canadian status assessment and research issues. *Forest Ecology and Management*, 207(3). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.11.023>
- Reyna, L., & Gossweiler, B. (2011). Segmentación y clasificación de imágenes satelitales para determinar la cobertura del suelo. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, (4). https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i4.663
- Riaño-Cubides, G. F. (2022). Viabilidad del uso de sensores remotos en la caracterización de asentamientos carenciados en Colombia. *Memorias Del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(3). <https://doi.org/10.26457/mclidi.v8i3.3226>
- Rodríguez, J. L. L., Rodríguez, M. L., Quispe, A. C., Tarmeño, E. I. C., Tovar, F. D. U., Soto, H. L. H., Cruz, O. E. T., Rojas, J. M. P., Casas, M. B. S., Guardia, P. W. V., Gutiérrez, H. O. C., & Gutiérrez, M. M. C. (2021). Uso del suelo según índice de vegetación diferenciada normalizada, mediante imágenes satelitales, tambillo-Ayacucho, 2000-2014, Perú. *South Florida Journal of Development*, 2(3). <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-083>
- Shugar, D. H., Colorado, K. A., Clague, J. J., Willis, M. J., & Best, J. L. (2019). 'Boundary': mapping and visualizing climatically changed landscapes at Kaskawulsh Glacier and Kluane Lake, Yukon. *Journal of Maps*, 15(3). <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1467349>
- Tecuapetla-Gómez, I., Carbajal-Domínguez, A., & Montesinos-Chica, V. (2022). Clasificación de tendencias de NDVI en la península de Yucatán, México, de 2014 a 2020. *Investigaciones Geográficas*, (109). <https://doi.org/10.14350/rig.60629>

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2).

<https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

Verde, N., Mallinis, G., Tsakiri-Strati, M., Georgiadis, C., & Patias, P. (2018). Assessment of radiometric resolution impact on remote sensing data classification accuracy. *Remote Sensing*, 10(8), 1267. <https://doi.org/10.3390/rs10081267>

Watson, C. S., King, O., Miles, E. S., & Quincey, D. J. (2018). Optimising NDWI supraglacial pond classification on Himalayan debris-covered glaciers. *Remote Sensing of Environment*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.020>

Zambrano-Garcia, O. M., & Vlassova, L. (2023). Algoritmo de inteligencia artificial para la detección de cultivos de cacao (*Teobroma cacao* L.), banano (*Musa paradisiaca* L.) y palma africana (*Elaeis guineensis* J.). In *Algoritmo de inteligencia artificial para la detección de cultivos de cacao (Teobroma cacao L.), banano (Musa paradisiaca L.) y palma africana (Elaeis guineensis J.)*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.61>