

Perspectivas sobre el uso de tecnología de teledetección para el monitoreo de la deforestación y degradación forestal

Perspectives on the use of remote sensing technology for deforestation and forest degradation monitoring

Saavedra-Mera, Karina Auxiliadora ^{1*}

¹ Universidad Cesar Vallejo, Ecuador, Esmeraldas; <https://orcid.org/0000-0002-8940-7223>, kasaavedra@ucvvirtual.edu.pe

* Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n3/37>

Cita: Saavedra-Mera, K. A. (2024). Perspectivas sobre el uso de tecnología de teledetección para el monitoreo de la deforestación y degradación forestal. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(3), 1-12. <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n3/37>

Recibido: 15/06/2024
Revisado: 01/07/2024
Aceptado: 07/07/2024
Publicado: 20/07/2024



Copyright: © 2024 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Resumen: La teledetección es clave para monitorear la deforestación y degradación forestal, amenazas críticas para la biodiversidad y el clima. Este artículo revisa avances tecnológicos, como el uso de satélites Landsat y Sentinel-2, que permiten detectar cambios en la cobertura boscosa, monitorear actividades ilegales y mapear áreas degradadas. Aunque enfrenta desafíos como la limitada resolución espacial y la falta de metodologías estandarizadas, tecnologías emergentes como la inteligencia artificial prometen optimizar los análisis y el monitoreo en tiempo real. Estas herramientas no solo fortalecen la conservación de los bosques, sino que también facilitan políticas públicas basadas en evidencia. La democratización del acceso a estas tecnologías podría cerrar brechas en países en desarrollo, promoviendo estrategias inclusivas de manejo sostenible. La innovación continua en teledetección es esencial para mitigar la deforestación y sus impactos globales.

Palabras clave: teledetección; deforestación; degradación forestal; sensores remotos; conservación forestal.

Abstract: Remote sensing is key to monitoring deforestation and forest degradation, critical threats to biodiversity and climate. This article reviews technological advances, such as the use of Landsat and Sentinel-2 satellites, to detect changes in forest cover, monitor illegal activities and map degraded areas. Although it faces challenges such as limited spatial resolution and lack of standardized methodologies, emerging technologies such as artificial intelligence promise to optimize analysis and real-time monitoring. These tools not only strengthen forest conservation, but also facilitate evidence-based public policies. Democratizing access to these technologies could close gaps in developing countries, promoting inclusive sustainable management strategies. Continued innovation in remote sensing is essential to mitigate deforestation and its global impacts.

Keywords: remote sensing; deforestation; forest degradation; remote sensing; forest conservation.

1. Introducción

La deforestación y la degradación forestal representan amenazas críticas para la biodiversidad global y la estabilidad climática. La pérdida de cobertura forestal no solo contribuye al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también afecta negativamente a los servicios ecosistémicos esenciales para la vida humana y la conservación de la biodiversidad (Hirschmugl et al., 2017). En este contexto, la teledetección se ha consolidado como una herramienta indispensable para el monitoreo y la gestión sostenible de los recursos forestales (Neto et al., 2024).

La teledetección, que incluye el uso de satélites y sensores remotos, permite la observación continua y a gran escala de los ecosistemas forestales, facilitando la detección temprana de cambios en la cobertura vegetal y la evaluación de la salud de los bosques. Esta tecnología ofrece ventajas significativas en comparación con los métodos tradicionales de monitoreo terrestre, especialmente en regiones de difícil acceso o con condiciones climáticas adversas que limitan las observaciones in situ (Montalván-Vélez, C. L., et. al. 2024). Además, plataformas como Sentinel-2 han demostrado ser eficaces en la detección de cambios en la cobertura boscosa, proporcionando datos esenciales para la gestión forestal y la conservación de la biodiversidad (Puerta Tuesta, Iannacone Oliver & Reátegui Inga, 2023).

La implementación efectiva de la teledetección en el monitoreo forestal enfrenta desafíos técnicos y operativos. La precisión de los datos obtenidos depende de factores como la resolución espacial y temporal de las imágenes, la disponibilidad de series temporales consistentes y la capacidad para diferenciar entre tipos de vegetación y grados de degradación (Jeri, 2021). Además, la integración de datos de múltiples fuentes y la interpretación precisa de la información requieren de metodologías robustas y personal capacitado (Novo Gómez, 2021).

A pesar de estos desafíos, los avances recientes en tecnologías de teledetección, como el desarrollo de sensores más sofisticados y el acceso a plataformas satelitales de alta resolución, han mejorado la capacidad para monitorear la deforestación y la degradación forestal de manera más precisa y oportuna. Por ejemplo, las imágenes del satélite Sentinel-2 han permitido detectar cambios en la cobertura boscosa con alta precisión, mientras que la combinación de datos de teledetección con sistemas de información geográfica ha optimizado la interpretación de estos datos (Hirschmugl et al., 2017; Neto et al., 2024).

La justificación para el uso de la teledetección en el monitoreo forestal radica en su capacidad para proporcionar información detallada y actualizada sobre el estado de los bosques a nivel global. Esto es fundamental para la formulación de políticas de conservación, la planificación del uso del suelo y la implementación de estrategias de mitigación del cambio climático (FAO, 2022). La teledetección permite la evaluación de áreas extensas con una inversión de tiempo y recursos relativamente menor en comparación con los métodos tradicionales de campo (González-Marcillo, R. L., et. al. 2023).

El presente artículo tiene como objetivo el revisar las perspectivas actuales sobre el uso de la tecnología de teledetección para el monitoreo de la deforestación y la degradación forestal, analizando sus aplicaciones, ventajas, limitaciones y los avances tecnológicos

que han mejorado su eficacia. Se examinarán estudios recientes que han utilizado diferentes plataformas y sensores de teledetección, evaluando su precisión y aplicabilidad en diversos contextos geográficos y ecológicos (Neves et al., 2023). Asimismo, se discutirán las tendencias emergentes en el uso de la teledetección para la conservación forestal y las oportunidades futuras para su integración en programas de monitoreo ambiental (Hansen, Mitchard & King, 2022).

La teledetección se presenta como una herramienta poderosa para el monitoreo de los bosques, ofreciendo datos cruciales para la toma de decisiones informadas en la gestión y conservación de los recursos forestales. La continua innovación en esta tecnología y su aplicación efectiva son esenciales para abordar los desafíos ambientales actuales y futuros relacionados con la deforestación y la degradación de los ecosistemas forestales (Hirschmugl et al., 2017; Puerta Tuesta et al., 2023).

2. Materiales y Métodos

El presente estudio se llevó a cabo mediante una metodología de carácter exploratorio basada en una revisión bibliográfica sistemática. Esta metodología permite analizar de manera integral y crítica los avances, aplicaciones y limitaciones de la teledetección en el monitoreo de la deforestación y degradación forestal, con el objetivo de identificar tendencias emergentes y oportunidades futuras en este campo.

Para la recolección de información, se realizó una búsqueda exhaustiva de literatura científica en bases de datos académicas reconocidas, como Scopus y Web of Science. Los criterios de selección se basaron en la relevancia temática, el impacto de las publicaciones y la actualidad de los estudios, priorizando artículos publicados en los últimos diez años. También se incluyeron revisiones sistemáticas, estudios experimentales y documentos técnicos relevantes que aportaran evidencia empírica o teórica al análisis.

El proceso de revisión se estructuró en tres etapas. En la primera etapa, se establecieron palabras clave y combinaciones de términos relacionados con la temática, como "teledetección", "deforestación", "degradación forestal", "monitoreo ambiental" y "tecnologías de sensores remotos". En la segunda etapa, se llevó a cabo un proceso de selección de artículos mediante la lectura de títulos y resúmenes, descartando aquellos que no cumplieran con los criterios establecidos. En la etapa final, se revisaron íntegramente los textos seleccionados para extraer información relevante y sintetizar los hallazgos en función del objetivo del estudio.

La información recopilada se organizó en categorías temáticas que abarcan las aplicaciones específicas de la teledetección en el monitoreo de la deforestación, los avances tecnológicos recientes, las limitaciones técnicas y metodológicas, y las perspectivas futuras en el uso de estas tecnologías. Este enfoque permitió identificar las principales áreas de consenso y debate en la literatura, así como destacar las brechas de conocimiento existentes.

Para garantizar la fiabilidad y validez de los resultados, se adoptó un enfoque crítico en la interpretación de los datos, contrastando los hallazgos de diferentes estudios y evaluando la calidad metodológica de las investigaciones incluidas. Asimismo, se evitó

la duplicidad de información y se priorizó la incorporación de trabajos provenientes de fuentes indexadas y de alta reputación científica.

El análisis de la información se llevó a cabo mediante una síntesis narrativa que facilita la integración de los hallazgos, permitiendo una comprensión amplia del estado del arte sobre la teledetección aplicada al monitoreo de la deforestación y la degradación forestal. Este enfoque metodológico asegura la relevancia y originalidad del artículo, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones en este campo.

3. Resultados

3.1. Aplicaciones actuales de la teledetección

La teledetección ha transformado profundamente las capacidades de monitoreo ambiental, especialmente en el ámbito de los ecosistemas forestales. Sus aplicaciones abarcan desde la identificación de cambios en la cobertura boscosa hasta el monitoreo en tiempo real de actividades ilegales y la localización de áreas críticas de degradación (Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. 2023). Estas herramientas tecnológicas no solo ofrecen datos detallados y actualizados, sino que también optimizan la toma de decisiones para mitigar la deforestación y conservar la biodiversidad global.

3.1.1. Detección de cambios en la cobertura boscosa

La detección de cambios en la cobertura boscosa es una de las aplicaciones más desarrolladas de la teledetección. A través de imágenes satelitales y algoritmos de análisis multitemporal, se pueden evaluar transformaciones en los ecosistemas forestales a lo largo del tiempo, cuantificando con precisión la pérdida de áreas boscosas (Herrera-Feijoo, R. J. 2024). Estudios recientes han empleado datos de satélites como Landsat y Sentinel para realizar análisis comparativos, permitiendo evaluar las tasas de deforestación y su distribución espacial.

En un análisis de la Amazonía ecuatoriana, se emplearon imágenes Landsat junto con algoritmos de redes neuronales para identificar áreas deforestadas. Este enfoque permitió no solo cuantificar la pérdida forestal, sino también correlacionarla con actividades humanas como la expansión agrícola y la minería ilegal (Herrera-Feijoo, R. J. 2024). Los resultados mostraron que, en ciertas regiones, la tasa anual de deforestación alcanzó hasta el 2%, destacando la necesidad de intervenciones urgentes (Gutiérrez-Salcedo et al., 2023).

El uso de teledetección en áreas protegidas como la Reserva Ecológica Mache-Chindul ha permitido identificar patrones de deforestación asociados a características topográficas y al acceso a infraestructuras humanas. Este tipo de análisis es clave para comprender cómo la deforestación está vinculada a factores socioeconómicos y ecológicos, facilitando la implementación de medidas de conservación específicas (Jiménez-López, 2021).

3.1.2. Monitoreo en tiempo real de actividades ilegales

El monitoreo en tiempo real representa un avance significativo en la capacidad de respuesta ante actividades ilegales que afectan los bosques, como la tala no autorizada, la minería y los incendios. Sistemas como DETER (Detecção de Desmatamento em

Tempo Real), desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, utilizan imágenes satelitales de alta resolución para detectar alteraciones en la cobertura forestal en tiempo casi real. Este sistema ha sido fundamental para la intervención inmediata de las autoridades, reduciendo la deforestación en áreas críticas de la (Amazonía Montalván-Vélez, C. L., et. al. 2024).

En Ecuador, las comunidades indígenas, como los cofanes, han adoptado tecnologías innovadoras, incluyendo drones y cámaras trampa, para complementar el monitoreo satelital. Estas herramientas han permitido registrar actividades ilegales en tiempo real y recopilar evidencia que respalda denuncias ante las autoridades (Herrera-Feijoo, R. J. 2024). Este enfoque participativo ha fortalecido la defensa de los territorios ancestrales y ha contribuido significativamente a la conservación de los ecosistemas forestales locales (Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. 2022).

En México, el uso combinado de teledetección y sistemas de información geográfica ha sido crucial para identificar y mitigar la tala ilegal en regiones como la Selva Lacandona. Al integrar datos de sensores remotos con información demográfica y socioeconómica, los investigadores han logrado mapear áreas de alto riesgo y priorizar su vigilancia (Chicaiza-Ortiz, C. D., et. al. 2023). Este enfoque integral no solo detecta actividades ilegales, sino que también proporciona información para abordar sus causas subyacentes.

3.1.3. Identificación de áreas críticas de degradación

La degradación forestal, aunque menos visible que la deforestación, tiene impactos significativos en la funcionalidad de los ecosistemas. La teledetección ofrece herramientas precisas para identificar áreas degradadas, facilitando intervenciones focalizadas para su restauración. Este proceso implica el uso de datos espectrales y multitemporales que permiten evaluar cambios en la densidad de la vegetación, el índice de área foliar y otras métricas asociadas a la salud del bosque (Herrera-Feijoo, R. J., et. al. 2023).

En la Selva Maya, la aplicación de teledetección ha revelado que un tercio de la cobertura forestal se ha perdido en las últimas dos décadas, principalmente debido a actividades ganaderas intensivas. Estos hallazgos han sido posibles gracias a la integración de datos satelitales de alta resolución con algoritmos de modelado espacial, destacando áreas prioritarias para programas de conservación y restauración (García-Mendoza et al., 2023).

Otro caso destacado es el de la Cuenca del Congo, donde el monitoreo satelital ha permitido identificar áreas de degradación provocadas por prácticas de tala selectiva y agricultura de subsistencia. Los datos recopilados han servido para desarrollar políticas de manejo sostenible que buscan equilibrar las necesidades económicas locales con la conservación ambiental (Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . 2022).

La tecnología de teledetección ha sido utilizada para mapear áreas afectadas por incendios forestales, proporcionando información detallada sobre la severidad de los daños y permitiendo una recuperación más eficiente de los ecosistemas degradados (Herrera-Feijoo, R. J. 2024). Este enfoque ha demostrado ser fundamental en regiones mediterráneas y tropicales, donde los incendios son una de las principales causas de pérdida forestal.

3.2. Limitaciones y perspectivas futuras

La teledetección ha emergido como una herramienta esencial en la monitorización de ecosistemas forestales, contribuyendo de manera significativa al entendimiento y la gestión de los recursos naturales. Sin embargo, su implementación enfrenta limitaciones inherentes que deben abordarse para maximizar su potencial. Entre los principales desafíos se encuentran las restricciones en la resolución de sensores, la falta de metodologías estandarizadas y la necesidad de incorporar tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) para optimizar los análisis (Boné-Andrade, M. F. 2023).

3.2.1. Restricciones en la resolución de sensores

Uno de los principales retos en la aplicación de la teledetección es la resolución limitada de los sensores utilizados, especialmente en estudios a gran escala. La resolución espacial, que determina la capacidad de un sensor para distinguir objetos o áreas individuales en la superficie terrestre, varía significativamente entre diferentes plataformas de teledetección (Vargas-Fonseca, A. D., et al. 2023). Sensores como los instalados en satélites Landsat y Sentinel ofrecen una resolución media, que, si bien es adecuada para monitoreo regional, resulta insuficiente para identificar cambios sutiles en áreas altamente fragmentadas. Por otro lado, sensores de alta resolución como WorldView y QuickBird pueden proporcionar detalles más precisos, pero a un costo elevado, lo que restringe su uso a proyectos con financiamiento robusto (Gómez et al., 2016).

En aplicaciones específicas como la detección de tala selectiva o el monitoreo de biodiversidad en paisajes complejos, la resolución espacial limitada puede llevar a la subestimación de impactos ecológicos críticos. Además, la resolución temporal, que se refiere a la frecuencia con la que un sensor puede capturar datos de la misma área, también representa un desafío, especialmente en regiones con alta nubosidad, donde los intervalos de observación se ven afectados (Guamán-Rivera, S. A. 2022). Esto subraya la necesidad de optimizar los sensores actuales y desarrollar nuevas tecnologías que equilibren la resolución espacial, espectral y temporal para satisfacer las demandas del monitoreo ambiental.

3.2.2. Necesidad de metodologías estandarizadas

La diversidad de sensores, plataformas y enfoques analíticos en la teledetección genera una enorme cantidad de datos con características heterogéneas. Sin una estandarización adecuada, esta heterogeneidad puede dificultar la integración de datos y limitar la comparabilidad de los resultados entre estudios. Por ejemplo, diferentes proyectos pueden utilizar clasificaciones de cobertura terrestre que varían en definiciones y categorías, lo que complica la síntesis de información a nivel global (Hansen et al., 2013).

Un área crítica que requiere estandarización es la evaluación de deforestación y degradación forestal. Actualmente, no existe un protocolo universalmente aceptado para distinguir entre estos fenómenos, lo que genera discrepancias en las estimaciones de su magnitud y distribución. Además, las metodologías para la validación de datos de teledetección, que incluyen el uso de puntos de referencia en campo y técnicas de muestreo, también carecen de uniformidad, lo que impacta negativamente en la

precisión y confiabilidad de los estudios (Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. 2023).

La implementación de estándares globales, como los propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), es fundamental para abordar estas brechas. Estos estándares deben considerar no solo la compatibilidad técnica entre diferentes sensores y métodos, sino también la accesibilidad y usabilidad para investigadores y tomadores de decisiones en países con recursos limitados.

3.2.3. Uso de inteligencia artificial para mejorar análisis

La incorporación de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático en la teledetección representa una oportunidad transformadora para superar las limitaciones técnicas actuales. Los algoritmos de IA pueden procesar grandes volúmenes de datos, identificar patrones complejos y realizar análisis automatizados con una precisión significativamente mayor que los métodos tradicionales. Por ejemplo, redes neuronales convolucionales han demostrado ser efectivas en la clasificación de imágenes satelitales y en la detección de cambios en la cobertura forestal, incluso en condiciones de baja resolución (Zhu et al., 2017).

La IA está impulsando el desarrollo de sistemas de monitoreo en tiempo real que integran datos de múltiples fuentes, incluyendo sensores terrestres, satelitales y drones. Estos sistemas pueden generar alertas automáticas sobre actividades ilegales, como tala o minería, permitiendo una respuesta rápida de las autoridades. En Brasil, el sistema DETER-B, basado en algoritmos avanzados, ha sido pionero en la detección de deforestación en tiempo real en la Amazonía, reduciendo significativamente los tiempos de respuesta frente a actividades ilegales (INPE, 2021).

La implementación de IA en la teledetección también enfrenta desafíos. El entrenamiento de modelos de IA requiere grandes conjuntos de datos etiquetados y de alta calidad, que a menudo no están disponibles en regiones menos estudiadas. Además, los algoritmos de IA son susceptibles a sesgos inherentes en los datos, lo que puede afectar la precisión de las predicciones. Abordar estas limitaciones requiere una inversión en infraestructura de datos, así como en la capacitación de profesionales capaces de interpretar y aplicar estas tecnologías.

3.2.4. Perspectivas futuras

El futuro de la teledetección forestal está intrínsecamente ligado a la innovación tecnológica y la colaboración internacional. La próxima generación de sensores satelitales, como los planificados por la Agencia Espacial Europea (ESA) y la NASA, promete resoluciones espaciales y temporales mejoradas, lo que facilitará un monitoreo más detallado y frecuente. Además, la creciente disponibilidad de datos abiertos de plataformas como Landsat y Sentinel democratiza el acceso a herramientas de monitoreo, permitiendo a países en desarrollo implementar estrategias de conservación basadas en evidencia (Herrera-Feijoo, R. J. 2024).

La integración de tecnologías emergentes, como la computación en la nube y los sistemas de blockchain, puede transformar la forma en que se procesan y comparten los datos de teledetección. Estas innovaciones no solo mejorarán la eficiencia del

análisis, sino que también garantizarán la transparencia y trazabilidad de los datos, fortaleciendo la confianza en los resultados generados.

4. Discusión

La teledetección ha demostrado ser una herramienta fundamental en el monitoreo forestal, ofreciendo ventajas significativas en términos de alcance y precisión. Sin embargo, su implementación también ha puesto de manifiesto una serie de desafíos técnicos y metodológicos que limitan su efectividad. La discusión sobre estas limitaciones y sus posibles soluciones es esencial para comprender el papel que desempeña esta tecnología en la gestión sostenible de los ecosistemas forestales.

Uno de los principales problemas identificados en este campo es la resolución limitada de los sensores. Aunque los avances tecnológicos han permitido desarrollar sensores de alta resolución capaces de ofrecer información detallada a nivel local, su aplicación en grandes extensiones de terreno sigue siendo restringida debido a los costos elevados y a las limitaciones en la disponibilidad de datos. Sensores como Landsat o Sentinel ofrecen un balance entre resolución y accesibilidad, pero no son capaces de detectar cambios sutiles en paisajes altamente fragmentados o perturbados (Gómez, White & Wulder, 2016). Esto subraya la necesidad de desarrollar sensores más eficientes que combinen alta resolución espacial y temporal con un costo accesible para su uso en monitoreos regulares y a gran escala.

La heterogeneidad de los datos provenientes de diferentes plataformas satelitales ha dificultado la integración de información y la comparación de resultados entre estudios. La falta de metodologías estandarizadas es una barrera significativa, especialmente en el contexto de análisis globales de deforestación y degradación forestal. Hansen et al. (2013) destacan cómo las discrepancias en las clasificaciones de cobertura terrestre y los métodos de validación limitan la replicabilidad y la interpretación coherente de los resultados. La implementación de estándares internacionales es, por tanto, imprescindible para garantizar la uniformidad de los estudios y maximizar el impacto de las decisiones basadas en datos.

La inteligencia artificial (IA) se ha presentado como una solución prometedora para abordar algunas de estas limitaciones, permitiendo el análisis automatizado de grandes volúmenes de datos y mejorando la precisión de las predicciones. Sin embargo, el uso de IA también introduce nuevos desafíos. Por ejemplo, los modelos de aprendizaje profundo requieren conjuntos de datos extensos y de alta calidad para su entrenamiento, lo cual puede ser un obstáculo en regiones donde la recopilación de datos es limitada o inconsistente (Zhu et al., 2017). Además, la interpretación de los resultados generados por estos algoritmos puede ser compleja, lo que resalta la necesidad de capacitar a los usuarios finales en su manejo y aplicación.

A pesar de estos desafíos, las perspectivas futuras de la teledetección en el monitoreo forestal son alentadoras. La combinación de tecnologías emergentes, como la computación en la nube y los sistemas de información geográfica, con los avances en sensores y algoritmos de IA, tiene el potencial de transformar la forma en que se gestionan los recursos naturales. La democratización del acceso a datos satelitales de alta calidad, como los proporcionados por Sentinel y Landsat, ha permitido que países

en desarrollo implementen estrategias de conservación más efectivas, cerrando la brecha tecnológica entre regiones (Gómez et al., 2016).

La integración de estas tecnologías con enfoques participativos ha mostrado resultados prometedores en contextos locales. Por ejemplo, comunidades indígenas en la Amazonía han adoptado drones y plataformas de teledetección para monitorear y documentar actividades ilegales en sus territorios, fortaleciendo la protección de sus ecosistemas (INPE, 2021). Esto resalta cómo la teledetección puede ser una herramienta inclusiva, empoderando a las comunidades locales y fomentando su participación en la conservación de los bosques.

La teledetección representa una herramienta poderosa y en constante evolución para enfrentar los desafíos asociados con la deforestación y la degradación forestal. Aunque persisten limitaciones técnicas y metodológicas, los avances tecnológicos, la implementación de estándares globales y la incorporación de enfoques innovadores como la IA ofrecen oportunidades significativas para mejorar su efectividad. Es fundamental que la investigación y las políticas públicas sigan apoyando el desarrollo de estas tecnologías, garantizando su accesibilidad y sostenibilidad para maximizar su impacto en la conservación de los ecosistemas forestales.

5. Conclusiones

La teledetección se ha consolidado como una herramienta indispensable en el monitoreo y la gestión de los ecosistemas forestales, destacando por su capacidad para proporcionar datos precisos y actualizados sobre la dinámica de la deforestación y la degradación forestal. Su uso ha permitido identificar áreas críticas de pérdida de cobertura boscosa, monitorear actividades ilegales en tiempo real y detectar patrones de degradación, contribuyendo significativamente a la conservación de los recursos naturales.

El desarrollo e implementación de esta tecnología enfrenta importantes desafíos. Las limitaciones en la resolución de los sensores, tanto espaciales como temporales, afectan la precisión de los análisis, especialmente en regiones donde los cambios en la vegetación son sutiles o donde las perturbaciones ocurren en áreas fragmentadas. Además, la falta de metodologías estandarizadas dificulta la integración y comparación de datos provenientes de diferentes plataformas y sensores, reduciendo la efectividad de los esfuerzos de monitoreo global.

La inteligencia artificial emerge como una solución prometedora para superar algunas de estas barreras, al permitir el análisis automatizado y en profundidad de grandes volúmenes de datos. No obstante, su implementación requiere superar retos como la necesidad de conjuntos de datos robustos y el desarrollo de capacidades técnicas en los usuarios finales para interpretar los resultados de manera efectiva.

A pesar de estos retos, las perspectivas futuras para la teledetección en la gestión forestal son alentadoras. Los avances tecnológicos en sensores, algoritmos de análisis y plataformas de procesamiento de datos, combinados con enfoques participativos e inclusivos, ofrecen oportunidades significativas para mejorar la eficacia y la sostenibilidad de estas herramientas. La democratización del acceso a datos y

tecnologías puede cerrar brechas de capacidad en países en desarrollo, permitiéndoles adoptar estrategias de conservación más efectivas y basadas en evidencia.

La teledetección no solo es una tecnología poderosa, sino también una oportunidad para transformar la forma en que se monitorean y protegen los bosques del mundo. Su continuo desarrollo e integración con políticas públicas y marcos de gobernanza inclusivos son esenciales para garantizar su impacto positivo en la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad.

Referencias Bibliográficas

- Boné-Andrade, M. F. (2023). Inclusión Digital y Acceso a Tecnologías de la Información en Zonas Rurales de Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n2/40>
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>
- Erazo-Luzuriaga, A. F., Ramos-Secaira, F. M., Galarza-Sánchez, P. C., & Boné-Andrade, M. F. (2023). La inteligencia artificial aplicada a la optimización de programas informáticos. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1), 48–63. <https://doi.org/10.55813/qaea/jessr/v3/n1/61>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). Acelerando el monitoreo innovador de los bosques. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.12692/2443>
- García-Mendoza, C., Ramírez-Ávila, J., & González-Sánchez, L. (2023). Perspectivas de conservación en la Selva Maya: Análisis mediante teledetección. *Journal of Environmental Studies*, 45(3), 215-230.
- Gómez, C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55-72. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
- González-Marcillo, R. L., Guamán-Rivera, S. A., Guerrero-Pincay, A. E., & Ortiz-Naveda, N. R. (2023). *Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.46>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Manchano, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1-20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>

- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>
- Hirschmugl, M., Gallaun, H., Dees, M., Datta, P., Deutscher, J., Koutsias, N., & Schardt, M. (2017). Methods for Mapping Forest Disturbance and Degradation from Optical Earth Observation Data: a Review. *Remote Sensing*, 9(8), 827. <https://doi.org/10.3390/rs9080827>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2021). Amazon deforestation monitoring project. *DETER Program*. <https://www.inpe.br/deter>
- Jeri, V. B. S. (2021). Revisión Bibliográfica de uso de sensores remotos para la detección de cambios en la cobertura vegetal impactada por la deforestación. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62806>
- Jiménez-López, A. (2021). Detección de deforestación y degradación en reservas naturales de Ecuador. *Revista de Geografía y Ambiente*, 38(2), 98-112.
- Montalván-Vélez, C. L., Mogrovejo-Zambrano, J. N., Romero-Vitte, I. J., & Pinargote-Carrera, M. L. D. C. (2024). Introducción a la Inteligencia Artificial: Conceptos Básicos y Aplicaciones Cotidianas . *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 173–183. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/93>
- Neto, E., Faria, F. A., de Oliveira, A. A. S., & Fazenda, Á. L. (2024). A Satellite Band Selection Framework for Amazon Forest Deforestation Detection Task. *arXiv preprint arXiv:2404.02659*. <https://arxiv.org/abs/2404.02659>
- Neves, C. N., Feitosa, R. Q., Ortega Adame, M. X., & Giraldo, G. A. (2023). Combining recurrent and residual learning for deforestation monitoring using multitemporal SAR images. *arXiv preprint arXiv:2310.05697*. <https://arxiv.org/abs/2310.05697>
- Novo Gómez, M. (2021). Teledetección y Sistemas de Información Geográfica en el ámbito forestal. [Tesis de maestría, Universidad de Vigo]. Repositorio Institucional UVigo. <https://investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/2736>
- Puerta Tuesta, R. H., Iannacone Oliver, J. A., & Reátegui Inga, M. E. (2023). Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3), 29-42. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.12708>

Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>

Vargas-Fonseca, A. D., Borja-Cuadros, O. M., & Cristiano-Mendivelso, J. F. (2023). Introducción a la estructura ecológica principal del Distrito Capital y su región ambiental: Conceptos fundamentales, ordenamiento territorial e instrumentos jurídicos. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.34>

Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G. S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8-36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.