







Determination of Vegetation Cover Loss Using Remote Sensing in Padre Abad from 2005 to 2025







Luciana Andrea, Burga Beteta¹; Liset Maricela, Ybarra Suarez²; Edwin Favian, Poma Carbajal³; Luzmaria Andrea, Garbozo Picasso⁴; Hillary Anaís, Navarro Reynalte⁵; Nayeli Yamile, Alcántara Chugnas⁶, Giovanna Madeleyne Martínez Molina *Universidad Privada del Norte, Perú*, n00322996@upn.pe, n00343326@upn.pe, n00328516@upn.pe, n0033914@upn.pe, n002220325@upn.pe, n00284245@upn.pe, Giovanna.martinez@upn.edu.pe

***Abstract-** The present study, entitled *Determination of Vegetation Cover Loss Using Remote Sensing in Padre Abad for the Period 2005 to 2025*, aims to analyze vegetation cover changes in this Amazonian province using multitemporal satellite imagery processed with Geographic Information Systems (GIS) such as QGIS and Python programming. The research addresses the alarming loss of primary forests in the region, driven by anthropogenic activities such as shifting agriculture, indiscriminate logging, illicit crops, and legal agricultural expansion. Satellite images from 2005, 2010, 2015, 2019, and 2025 were processed to generate thematic maps and statistical outputs that reveal deforestation patterns, regeneration processes, and*

critical areas. The results show a fluctuating dynamic of loss and recovery, highlighting the vulnerability of ecosystems under human pressure. This work provides scientific evidence for sustainable land-use planning and encourages the use of accessible remote sensing technologies as effective tools for environmental monitoring in highly fragile ecosystems.

***Keywords--**Remote sensing, vegetation cover, deforestation, Padre Abad, GIS (geographic information system)*

Determinación de la pérdida de cobertura vegetal mediante el uso de teledetección en Padre Abad en el periodo 2005 – 2025

Luciana Andrea, Burga Beteta¹; Liset Maricela, Ybarra Suarez²; Edwin Favian, Poma Carbajal³; Luzmaria Andrea, Garbozo Picasso⁴; Hillary Anaís, Navarro Reynalte⁵; Nayeli Yamile, Alcántara Chugnas⁶, Giovanna Madeleyne Martínez Molina *Universidad Privada del Norte, Perú*, n00322996@upn.pe, n00343326@upn.pe, n00328516@upn.pe, n0033914@upn.pe, n002220325@upn.pe, n00284245@upn.pe, Giovanna.martinez@upn.edu.pe

Resumen— El presente estudio titulado *Determinación de la pérdida de cobertura vegetal mediante el uso de teledetección en Padre Abad en el periodo 2005 - 2025* tiene como objetivo analizar los cambios de cobertura vegetal de esta provincia amazónica mediante imágenes satelitales multitemporales procesadas con Sistemas de Información Geográfica (SIG) como QGIS y programación en Python. La investigación responde a la alarmante pérdida de bosques primarios en la región, impulsada por actividades antrópicas como la agricultura migratoria, la tala indiscriminada, los cultivos ilícitos y la expansión agrícola legal. Se emplearon imágenes satelitales correspondientes a los años 2005, 2010, 2015, 2019 y 2025, con las que se generaron mapas temáticos y estadísticas que permiten identificar patrones de deforestación, procesos de regeneración y áreas críticas. Los resultados evidencian una dinámica fluctuante de pérdida y recuperación, que pone en manifiesto la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a la presión humana. El trabajo aporta evidencia científica útil para la planificación territorial sostenible y promueve el uso de tecnologías accesibles de teledetección como herramientas de monitoreo ambiental en zonas de alta fragilidad ecológica.

Palabras clave— Teledetección, cobertura vegetal, deforestación, Padre abad, SIG (sistema de Información Geográfica)

I. INTRODUCCIÓN

Los seres humanos siempre hemos dependido de la biósfera para satisfacer nuestras necesidades básicas como el alimento, el oxígeno y las materias primas. Sin embargo, el acelerado incremento demográfico y el creciente consumo individual han ejercido una presión significativa sobre los ecosistemas naturales, generando un proceso de degradación progresiva que afecta tanto la disponibilidad de recursos como la estabilidad ambiental [1]. Uno de los efectos más visibles de esta presión es el cambio en la cobertura vegetal, que actúa como un indicador directo del uso insostenible del suelo y del deterioro ambiental en general [2].

En 2023 se evidenció la pérdida de más de 3,7 millones de hectáreas de selva primaria, siendo los territorios de Bolivia y Nicaragua los más afectados. Allí, las actividades agroindustriales y ganaderas fueron las principales responsables de esta reducción [3]. Estos cambios no son aislados: generan impactos ambientales multisistémicos que incluyen alteraciones en los ciclos hidrológicos, una menor capacidad de captura de carbono y desequilibrios en la regulación climática global. En el caso del Perú, la región Ucayali —particularmente la provincia de Padre Abad— refleja esta problemática, pues se ha visto fuertemente impactada por la agricultura itinerante, la tala indiscriminada, las plantaciones ilícitas y la construcción de infraestructuras no planificadas [4], [5].

En la zona de estudio, muchos pobladores han sustituido las actividades ilícitas por cultivos locales como la palma aceitera o el cacao, lo que ha significado una mejora en su estabilidad económica. Sin embargo, esta transformación también acarrea consecuencias ambientales, ya que la expansión de estos cultivos implica la deforestación de extensas áreas boscosas, lo que afecta de manera directa los ecosistemas, la fauna y la flora local [6]. Durante el primer trimestre de 2023, los cultivos de coca fueron responsables del 54,81 % de la deforestación en Ucayali, mientras que la agricultura legal representó un 44,79 % [7]. En los últimos diez años, más de 17,500 hectáreas han sido deforestadas para la producción de palma aceitera y otras 10,500 hectáreas para cacao, generando beneficios económicos en zonas como Aguaytía, pero con el costo ambiental de pérdida de biodiversidad, alteración climática local y degradación de recursos esenciales como los suelos y las fuentes de agua [8].

Entre 2001 y 2024, la región de Ucayali, Perú, perdió cerca de 846 mil hectáreas de superficie arbórea, equivalente a una reducción del 8.2 % respecto al año 2000 y generó emisiones estimadas de 560 millones de toneladas métricas de CO₂ equivalente. De esta pérdida total, 601 mil hectáreas correspondieron a bosque primario húmedo, lo que equivale al 72 % del total deforestado en ese periodo. Esta reducción refleja una disminución del 6.3 % en el área de bosque primario húmedo en la región. Además, se estima que el 70 % de esta pérdida ocurrió en zonas donde las causas principales estuvieron directamente relacionadas con procesos de

deforestación, como la expansión agrícola, la tala y otras actividades antrópicas [9].

Frente a este panorama, la implementación de herramientas geoespaciales —especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección— adquiere una relevancia fundamental. Estas tecnologías no solo permiten identificar y monitorear con precisión las zonas críticas, sino que además son esenciales para concienciar acerca del impacto del mal uso que hacemos de los recursos naturales. A través del análisis de imágenes satelitales y del mapeo multitemporal, es posible visualizar de manera tangible cómo las actividades humanas transforman el territorio, lo que contribuye a generar conciencia colectiva y a orientar estrategias de conservación y restauración [10].

Actualmente, diversas metodologías innovadoras han potenciado el uso de estas tecnologías. Programas como Copernicus y su flota de satélites Sentinel se han convertido en referentes globales para el monitoreo ambiental, proporcionando datos de acceso libre y de alta precisión que se complementan con sistemas de medición en superficie. Esta integración ofrece servicios aplicados a la gestión de cobertura vegetal, la conservación de recursos hídricos, la planificación energética, la mitigación del cambio climático y la seguridad civil [11]. Además, el uso de lenguajes de programación como Python ha fortalecido las capacidades de análisis geoespacial, gracias a bibliotecas como rasterio, geopandas, scikit-learn y TensorFlow, que permiten automatizar flujos de trabajo, manejar grandes volúmenes de información y aplicar modelos predictivos con gran eficiencia [12].

En este contexto, la provincia de Padre Abad se convierte en un caso de estudio altamente representativo. Las presiones antrópicas, como la agricultura migratoria, la tala ilegal, la expansión de monocultivos y la construcción de narcopistas, han transformado radicalmente el paisaje natural, reduciendo de manera drástica la cobertura vegetal y fragmentando ecosistemas de alto valor ecológico. Mediante el uso de la teledetección y los SIG, es posible caracterizar los patrones de deforestación en un análisis multitemporal que abarca del 2005 al 2025, identificando zonas críticas, estableciendo tendencias y comprendiendo mejor la dinámica de cambio territorial.

Este estudio se justifica no solo por su aporte científico y técnico, sino también por su relevancia ambiental y social. En el plano ambiental, permite evaluar el estado de los ecosistemas y las consecuencias de su transformación. Desde la perspectiva científica, promueve el uso de herramientas tecnológicas avanzadas para la investigación de procesos de deforestación. En el ámbito social y territorial, ofrece información clave para el diseño de políticas públicas y la toma de decisiones en beneficio de comunidades que dependen directamente de los recursos forestales.

En suma, este trabajo busca contribuir no solo al entendimiento técnico de la pérdida de cobertura vegetal, sino también a generar conciencia sobre la necesidad de un manejo sostenible del territorio. Al integrar los SIG y la teledetección en el análisis, se evidencia que estas herramientas no son

únicamente instrumentos de monitoreo, sino también mecanismos que permiten visibilizar la magnitud de la problemática, sensibilizar a la población y fomentar un cambio en la forma en que utilizamos y valoramos los recursos naturales.

La respectiva investigación tiene por objetivo determinar pérdida de cobertura vegetal en la provincia de Padre Abad, Ucayali, durante el periodo 2005–2025, mediante el análisis de imágenes satelitales y el uso de técnicas de teledetección, para ello, se realizará el procesamiento de imágenes satelitales multitemporales (2005 – 2025) para detectar los cambios en la cobertura vegetal en el área de estudio; asimismo, se elaboraran mapa temáticos con el uso de QGIS lo cual será útil para la caracterización de la distribución espacial y poder relacionar los cambios detectados con factores antrópicos predominantes y, proyectar la evolución de la deforestación hacia el 2040.

II. METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en el análisis numérico y estadístico de datos geoespaciales obtenidos a partir de imágenes satelitales multitemporales. Este enfoque permite medir objetivamente los cambios en la cobertura vegetal dentro del área de estudio, estableciendo patrones, proporciones y variaciones en el tiempo a partir de procedimientos sistemáticos. Se trata de una investigación descriptiva y longitudinal. Es descriptiva porque busca identificar, clasificar y caracterizar los distintos tipos de cobertura vegetal en la provincia de Padre Abad durante un periodo determinado; y es longitudinal porque analiza los cambios ocurridos en un horizonte temporal extenso, comprendido entre los años 2005 y 2025, lo que permite evaluar tendencias de transformación ambiental de manera comparativa.

El estudio adopta un diseño no experimental, observacional y retrospectivo, utilizando imágenes satelitales Landsat de 30 m de resolución para analizar los cambios en la cobertura vegetal sin intervenir el entorno. El procesamiento se realiza con QGIS y el complemento SCP, aplicando clasificación supervisada para generar mapas temáticos y calcular tasas de cambio entre periodos. La precisión se valida con matrices de confusión y, de ser posible, con datos de campo, asegurando un enfoque riguroso para el monitoreo ambiental en Padre Abad.

2.1 Área de Estudio

La investigación se desarrolló en la provincia de Padre Abad, ubicada en el noroccidente de Ucayali, se sitúa en la zona de transición entre los Andes orientales y la llanura amazónica. Su capital es Aguaytía, localizada a 162 km al sur de Pucallpa sobre la Carretera Federico Basadre. El territorio abarca desde las estribaciones andinas hasta el caserío Andrés Avelino Cáceres en Curimaná, incluyendo la cuenca del río Aguaytía y parte de la subcuenca del San Alejandro.

Geográficamente, la provincia de Padre Abad se ubica en Ucayali y limita con Nueva Requena al norte, Pachitea

(Huánuco) al sur, Coronel Portillo al este y Leoncio Prado (Huánuco) al oeste. Tiene una superficie de 8,822.5 km², lo que representa el 8.61 % del territorio regional.

Demográficamente, alberga una población aproximada de 54,480 habitantes, con una densidad baja de 6.18 hab/km². Políticamente, está conformada por cinco distritos: Padre Abad, el de mayor extensión con el 53% del territorio y capital en Aguaytia; Irazola, con el 13% y capital en San Alejandro; Curimaná, con el 24%, Neshuya con el 7% y Von Humboldt con la minoría de 3%. Esta distribución evidencia que más de la mitad del territorio se concentra en un solo distrito, lo que representa un reto para la planificación y gestión de los recursos [13].

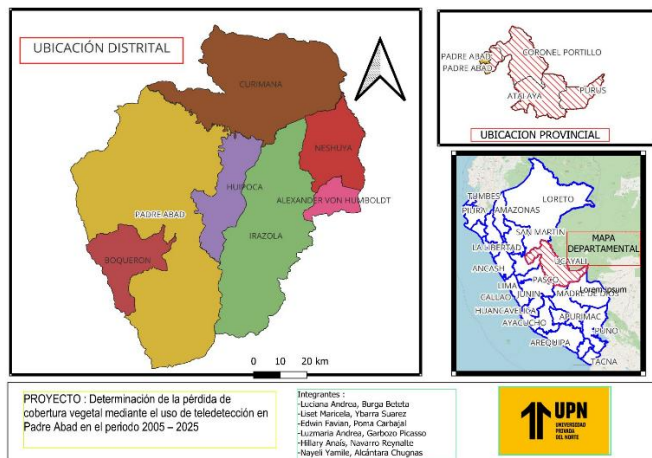


Fig. 1 Mapa político-administrativo de la provincia de Padre Abad, ubicada en el departamento de Ucayali

2.2 Procesamiento digital

Para el procesamiento de imágenes satelitales multitemporales para detección de cambios en la provincia de Padre Abad, se integraron herramientas de programación, software de código abierto y plataformas satelitales especializadas. La metodología se desarrolló en las siguientes etapas:

A. Selección de lenguaje de programación

Se eligió el lenguaje Python por su capacidad para automatizar tareas, procesar imágenes satelitales y generar representaciones estadísticas. Todo el desarrollo se realizó en Visual Studio Code, un editor de código eficiente que permitió estructurar, depurar y organizar los scripts necesarios para el análisis geoespacial.

B. Selección de lenguaje de programación

Las imágenes fueron descargadas desde dos fuentes confiables:

- NASA Worldview: para los años 2005, 2010 y 2015.

- Copernicus Browser: para los años 2019 y 2025.

Estas imágenes fueron almacenadas en formato TIFF (Tagged Image File Format) por su alta calidad y compatibilidad con herramientas de análisis geoespacial. Cada conjunto de imágenes se organizó en carpetas separadas según el año, facilitando su gestión y comparación posterior.

C. Procesamiento y análisis con Python

Se emplearon diversas librerías especializadas:

- Rasterio: para la lectura y manipulación de archivos raster geoespaciales.
- NumPy: para realizar cálculos matriciales y estadísticas sobre las bandas espectrales.
- Matplotlib: para la visualización de resultados gráficos.
- Pandas: para el manejo de datos tabulados y generación de tablas comparativas.

Este procesamiento incluyó:

- Cálculo de diferencias espectrales entre años.
- Identificación de zonas con pérdida o aumento de cobertura vegetal.
- Detección de patrones de degradación mediante índices visuales.
- Generación de gráficos de tendencias y mapas de calor.

D. Análisis geoespacial en QGIS

Las imágenes procesadas fueron importadas a QGIS para generar mapas temáticos e interpretar visualmente los resultados. En esta etapa se realizaron las siguientes tareas:

- Categorización de la cobertura vegetal en clases (bosques, bosque intervenido, áreas agrícolas, zonas urbanas, etc.).
- Superposición de capas por año para identificar áreas de cambio.
- Georreferenciación y delimitación de zonas críticas afectadas.

Además, el procesamiento digital incluyó el empleo del complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), mediante el cual se implementaron métodos de clasificación supervisada, particularmente el enfoque de Máxima probabilidad, validando los resultados con datos auxiliares

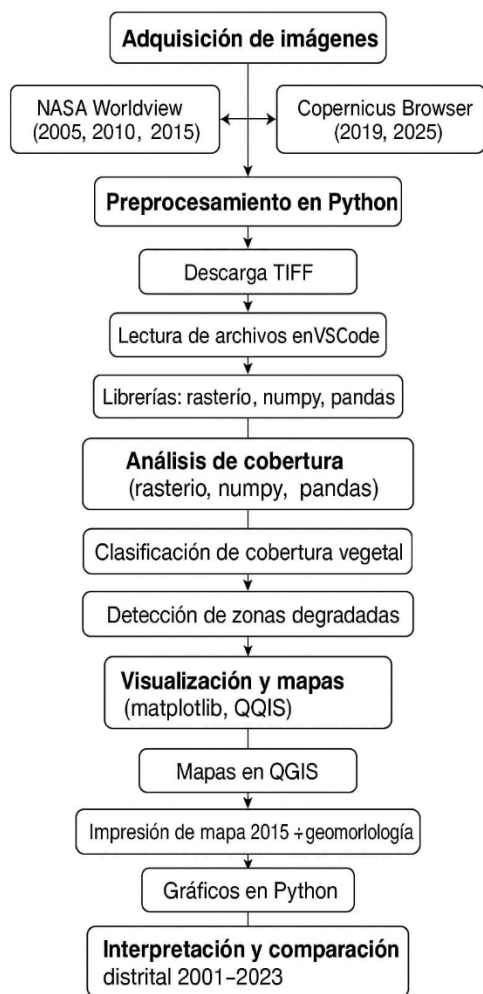


Fig. 2 Flujo metodológico para el análisis de cobertura vegetal y detección de zonas degradadas en la provincia de Padre Abad.

Proyección de datos de deforestación con PHP

1. Metodología empleada

La metodología se basa en identificar el patrón anual de cambio en la pérdida de cobertura vegetal y utilizarlo para proyectar valores futuros. Esta proyección parte del supuesto de que la tendencia actual se mantiene, lo que permite estimar de manera aproximada posibles escenarios futuros.

2. Carga de herramientas y preparación del entorno

Primero, se carga la librería SimpleXLSX, la cual permite leer archivos Excel .xlsx desde PHP, luego se importa su espacio de nombres para facilitar su uso en el código y, finalmente, se define la ruta del archivo datos.xlsx verificando su existencia antes de proceder con su procesamiento.

3. Procesamiento del archivo Excel

Si el archivo está disponible, se utiliza la función parse() para leer su contenido, extrayendo las primeras seis filas desde la tercera columna en adelante, descartando las dos primeras de cada fila, y almacenando estos datos para su posterior visualización y análisis.

4. Visualización de datos

Se utiliza Bootstrap para diseñar una interfaz ordenada y amigable, facilitando la visualización y navegación del contenido. Además, se crea una tabla en HTML que presenta de forma clara los datos originales extraídos del archivo Excel.

5. Obtención de años y preparación para análisis

Se identifica la fila correspondiente a los años, la cual se utiliza como eje X en los gráficos generados. A partir de estos datos temporales, se calcula el patrón de deforestación, definido como el promedio del cambio anual entre los distintos años disponibles en el conjunto de datos.

6. Proyección de datos

Con el patrón de cambio encontrado, se proyectan los valores hasta el año 2040 aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Proyección}(n+1) = \text{Proyección}(n) + \text{Patrón}$$

Esta fórmula permite extender la tendencia detectada, estimando los valores futuros en función del comportamiento observado en los datos históricos.

7. Construcción de tablas

Se crean dos tablas para organizar la información de manera clara:

- Una que contiene los datos históricos extraídos directamente del archivo Excel.
- Otra que muestra las proyecciones generadas hasta el año 2040, basadas en el patrón de cambio calculado previamente.

8. Gráficos dinámicos

Se generan dos gráficos interactivos utilizando Chart.js:

- El primero muestra los valores históricos de pérdida de cobertura vegetal.
- El segundo presenta las proyecciones estimadas hasta el año 2040.

Ambos gráficos están configurados para actualizarse dinámicamente, lo que permite reflejar cualquier cambio o actualización en los datos de forma automática.

III. RESULTADOS

Los resultados de las imágenes satelitales de 2005 muestran que gran parte de la provincia de Padre Abad (Ucayali) aún conservaba una amplia cobertura boscosa. No obstante, ya se identificaban procesos de deforestación y fragmentación, especialmente en los sectores noroeste y suroeste, asociados a la expansión agrícola, la tala maderera y los asentamientos humanos. Esto evidenciaba las primeras presiones antrópicas sobre un ecosistema que, aunque mayormente íntegro, empezaba a mostrar signos de transformación.

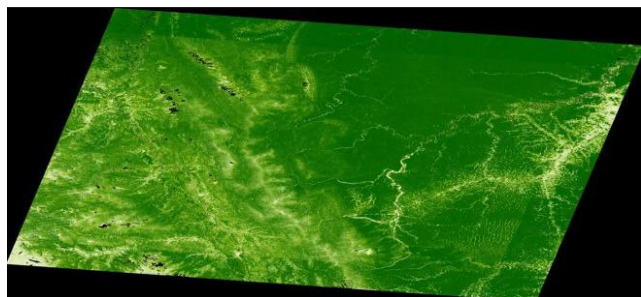


Fig. 3 Imagen satelital del año 2005

En el 2010, las imágenes reflejan un incremento considerable de áreas deforestadas respecto a 2005. La pérdida de cobertura se concentró principalmente en el oeste y centro del territorio, donde la fragmentación del bosque fue más extensa y los trazos lineales —caminos y vías de acceso— se ampliaron. Este patrón indica la expansión de la frontera agrícola, el crecimiento de actividades extractivas y el aumento de asentamientos humanos, lo que intensificó la presión sobre el ecosistema amazónico.

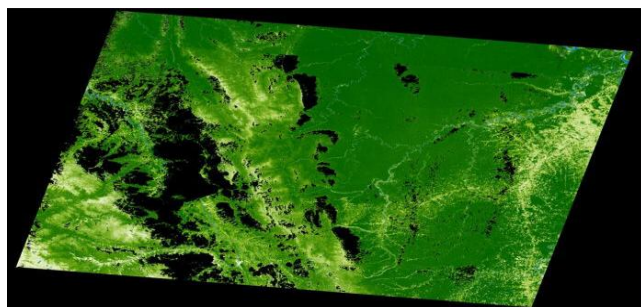


Fig. 4 Imagen satelital del año 2010

Para el 2015, la deforestación continuó avanzando, especialmente en la zona oriental y en áreas próximas a ríos y carreteras. Aunque en algunas zonas la intensidad disminuyó levemente en comparación con 2010, el proceso se extendió hacia nuevos sectores, adoptando un patrón más disperso pero constante. Estas evidencias reflejan que la presión agrícola,

ganadera y maderera persistió, manteniendo la tendencia de pérdida progresiva de cobertura vegetal en la provincia.

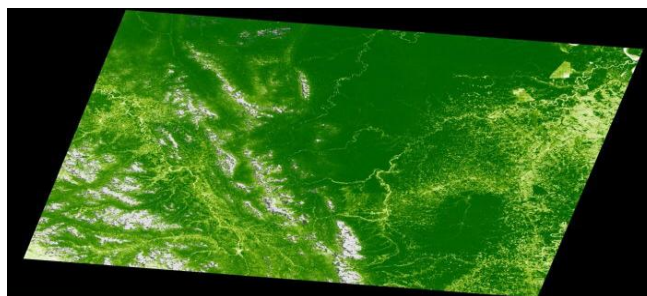


Fig. 5 Imagen satelital del año 2015

En el 2019, las imágenes satelitales evidencian una recuperación notable de la cobertura forestal en comparación con 2015, mostrando amplias zonas densamente verdes y mayor presencia de vegetación secundaria. Sin embargo, la cobertura nubosa en gran parte del territorio limitó la visibilidad total del área, lo que dificulta precisar con exactitud la magnitud de la recuperación. Aun así, en las zonas claras se observa que la deforestación persiste, sobre todo en el centro y noreste de la provincia. Esto sugiere que, aunque hubo mejoras respecto al periodo crítico de 2015, el impacto ambiental continuó, sin alcanzarse una recuperación completa del bosque.

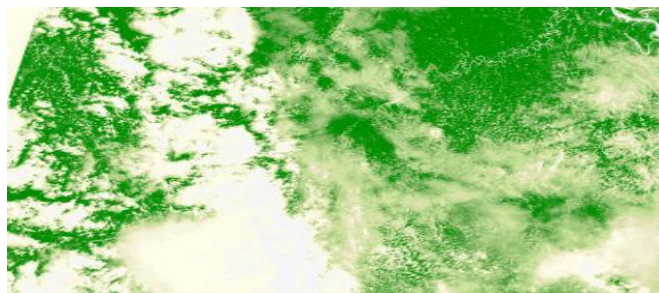


Fig. 6 Imagen satelital del año 2019

Por otro lado, en el 2025 las imágenes satelitales evidencian una disminución de la cobertura forestal respecto a 2019, aunque aún superior a la observada en 2005 y 2015. Se distinguen áreas densamente verdes que reflejan procesos de regeneración y reforestación, pese a que la nubosidad limita la visibilidad total. Esto indica que, aunque persisten presiones antrópicas, las iniciativas de conservación y un mayor control han favorecido una recuperación parcial del bosque.

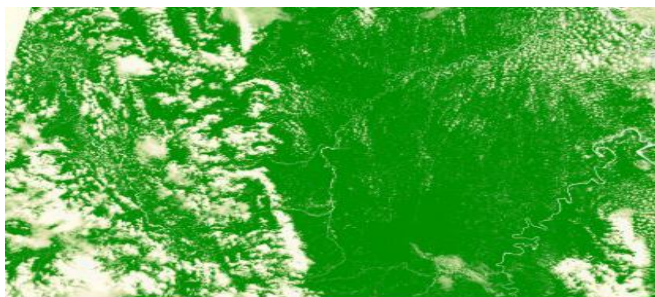


Fig. 7 Imagen satelital del año 2025

Asimismo, la cobertura forestal en la provincia de Padre Abad entre 2005 y 2025 evidencia una dinámica marcada por la presión antrópica sobre los ecosistemas amazónicos. En 2005, las imágenes satelitales registran alrededor de 30,000 píxeles de bosque, un nivel relativamente estable aunque con signos de fragmentación. Para el 2010, la cobertura aumenta a unos 59,000 píxeles, reflejando una recuperación parcial, aunque acompañada de la apertura de caminos que facilitaron nuevas presiones sobre el territorio. Sin embargo, en el 2015 se observa una caída drástica a cerca de 16,000 píxeles, reflejo del avance de la agricultura migratoria, la ganadería, la tala indiscriminada y la apertura de vías, lo que generó uno de los momentos de mayor deforestación en la provincia.

Posteriormente, en el 2019, la cobertura boscosa presenta una recuperación significativa, alcanzando aproximadamente 335,000 píxeles, posiblemente asociada a procesos de regeneración natural, mayor presencia de vegetación secundaria y el efecto de iniciativas de conservación. No obstante, para el 2025 vuelve a registrarse una reducción a cerca de 190,000 píxeles, aunque en niveles superiores a los de 2005 y 2015, lo que indica que si bien existen esfuerzos de recuperación, las actividades humanas siguen representando una amenaza constante. Esta evolución temporal confirma que la deforestación no es un proceso lineal, sino fluctuante, condicionado tanto por las dinámicas locales de uso del suelo como por la efectividad de las políticas de control y conservación.

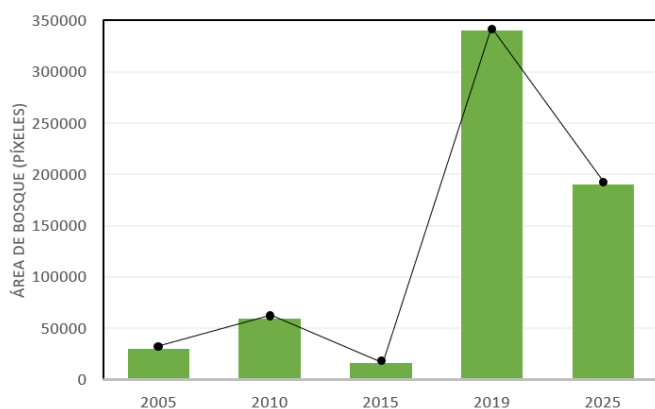


Fig. 8 Evolución del área de bosque en la provincia de Padre Abad durante los años 2005 hasta 2025

Evolución temporal de la pérdida de cobertura boscosa por Distrito

Los resultados obtenidos evidencian la evolución de la pérdida de cobertura vegetal en los distritos de la provincia de Padre Abad (Ucayali) entre 1995 y 2025. El distrito de Curimaná resalta como el más afectado, alcanzando en 2015 su punto crítico con más de 6,500 hectáreas deforestadas; a partir de ese año, la pérdida disminuye, aunque se mantiene en niveles significativos. En Irazola se observa una tendencia ascendente desde inicios del 2000 hasta 2015, con varios años por encima de 4,000 hectáreas, seguida de una reducción moderada en el periodo posterior. El distrito de Padre Abad presenta un comportamiento más variable, con incrementos progresivos que culminan en 2015 y un descenso sostenido en los años siguientes. En el caso de Neshuya, la pérdida se muestra más irregular, con picos entre 2005 y 2012, y una reducción más clara en la etapa reciente. Finalmente, Alexander von Humboldt registra la menor pérdida durante todo el periodo, con cifras bajas y una tendencia ligeramente decreciente.

En conjunto, los resultados confirman que el 2015 fue el año de mayor deforestación en la provincia, tras lo cual se aprecia una reducción en casi todos los distritos. Esta disminución podría estar asociada a mayores controles ambientales, cambios en las dinámicas de uso del suelo o a la reducción de áreas disponibles para explotación.

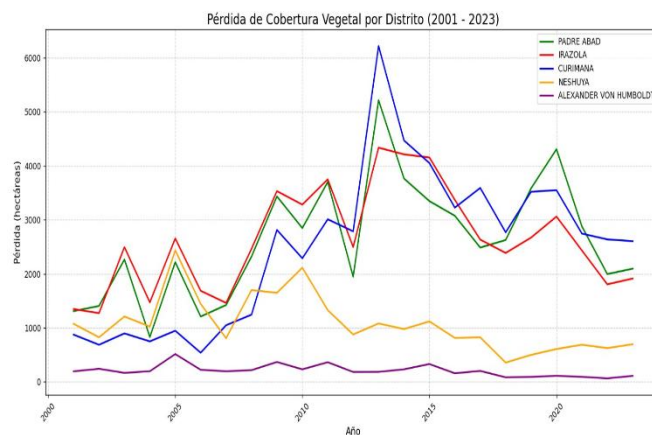


Fig. 9 Pérdida de cobertura vegetal (en hectáreas) entre 2001 y 2023 para los cinco distritos de la provincia de Padre Abad (Ucayali, Perú): Padre Abad, Razola, Curimaría, Neshuya y Alexander von Humboldt.

Cobertura vegetal y áreas alteradas en la zona de estudio

Las principales coberturas vegetales de la zona están dominadas por el bosque de montaña basimontano (97,261.5 ha), ubicado en áreas de pie de monte con gran biodiversidad, pero vulnerable a la expansión agrícola de palma aceitera y cacao. Le sigue el bosque de montaña (57,250 ha), presente en zonas más elevadas y escarpadas, bajo presión por tala y

extracción de recursos. Los bosques de terraza alta y baja (84,859 ha) y los bosques de colina alta y baja (58,226 ha) se concentran en áreas planas y de relieve intermedio, siendo especialmente afectados por la agricultura y la ganadería. En menor proporción destacan ecosistemas frágiles como el bosque inundable de palmeras (628 ha), la vegetación de isla (577 ha) y los ríos (6,087 ha), que conforman la red hídrica principal de la región.

Por otro lado, se identifican áreas de no bosque amazónico (Ano-ba), que abarcan 48,892 ha y representan zonas donde la cobertura original ha sido alterada o reemplazada. Estas incluyen terrenos deforestados, suelos expuestos o intervenidos por actividades agrícolas, ganaderas, infraestructura o urbanización. Muchas de estas áreas se encuentran en transición, evidenciando pérdida progresiva de vegetación natural como consecuencia de prácticas agrícolas no planificadas, apertura de vías y ausencia de una adecuada zonificación ecológica y económica.

3.1 Implicancias ambientales del cambio de cobertura

La cobertura vegetal en la provincia de Padre Abad para el año 2015 refleja una marcada presencia de ecosistemas forestales. La categoría más representativa corresponde al bosque de montaña basimontano (27,21 % del territorio), seguido por el bosque de montaña (16,02 %) y el bosque de terraza alta (13,07 %), evidenciando el predominio de áreas con vegetación natural aún conservada (véase Gráfica 5). No obstante, se registra también una proporción considerable de áreas de no bosque amazónico (13,68 %), lo cual indica procesos de deforestación, intervención o reemplazo de la cobertura vegetal original, principalmente asociados a la agricultura, la ganadería y la expansión urbana. Asimismo, categorías como el bosque de colina alta y baja y los bosques de terraza baja representan en conjunto más del 17 %, configurándose como zonas de transición particularmente vulnerables al cambio de uso del suelo.

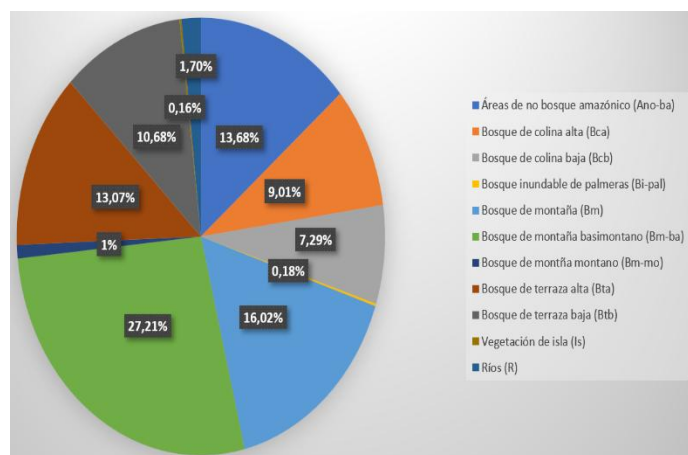


Fig. 10 Composición y distribución porcentual de los tipos de cobertura vegetal y zonas no boscosas en el área de estudio

3.2 Cambios detectados por factores antrópicos

Los resultados muestran la evolución de las hectáreas cultivadas en Padre Abad entre 2005 y 2015, evidenciando tendencias diferenciadas según el producto agrícola. La papaya destaca por su rápido crecimiento hasta 2010, cuando superó las 2,500 hectáreas, seguido de una reducción progresiva. En contraste, cultivos como el arroz se mantuvieron estables, mientras que el maíz y la yuca mostraron un aumento lento pero constante. Otros productos, como algodón y café, permanecieron con superficies reducidas y sin grandes variaciones, mientras que el cacao presentó fluctuaciones abruptas vinculadas a factores externos como el clima, el mercado o políticas agrícolas.

Estas dinámicas reflejan que los cambios en la superficie cultivada no responden a procesos naturales, sino a prácticas antrópicas intensivas como la agricultura migratoria y la expansión de monocultivos. Dichas actividades generan una presión permanente sobre los bosques, debido al agotamiento de suelos y la necesidad de abrir nuevas áreas fértiles. En conjunto, la gráfica evidencia que las decisiones humanas y los modelos productivos no sostenibles son los principales motores de la pérdida de cobertura forestal en la Amazonía, con repercusiones directas sobre la biodiversidad y el equilibrio ecológico regional.

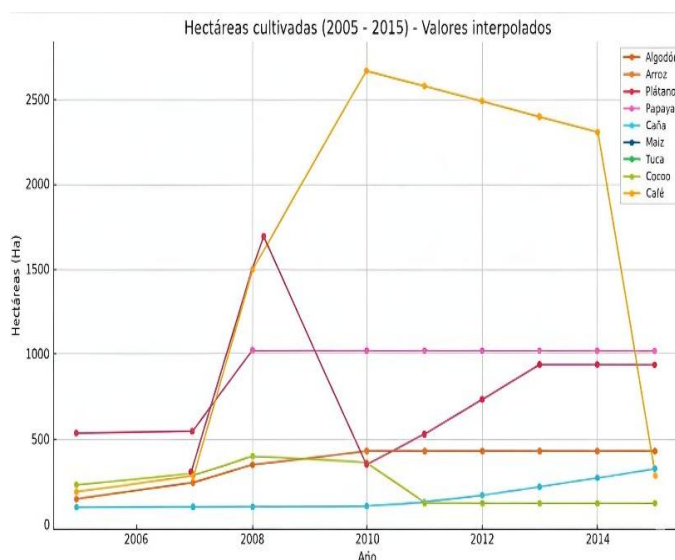


Fig. 11 Evolución de hectáreas cultivadas 2005-2015

Entre 2019 y 2023, los cultivos ilícitos de coca en la provincia de Padre Abad aumentaron de 550 a cerca de 1,400 hectáreas, reflejando un crecimiento acelerado impulsado por el narcotráfico. En 2020 se registró un pico de deforestación por la instalación de narco-pistas, que facilitaron la ocupación ilegal del territorio y agravaron la presión sobre los ecosistemas. Aunque en los años posteriores no se evidencian nuevas áreas tan extensas, estas actividades pudieron mantenerse de forma encubierta. En conjunto, los resultados muestran que los cultivos de coca y la infraestructura clandestina son motores

clave de la pérdida de cobertura vegetal, el deterioro ambiental y la debilidad del control estatal, lo que subraya la necesidad de medidas integrales de vigilancia, restauración y alternativas sostenibles.

3.3 Proyección sobre la pérdida de cobertura vegetal

Los resultados de la proyección de la deforestación hasta el año 2040 en los distritos de Padre Abad, Irazola, Curimaná, Neshuya y Alexander von Humboldt muestran una continuidad de las tendencias históricas con escenarios críticos a futuro. El distrito de Curimaná concentra la mayor pérdida proyectada, con un incremento sostenido que lo convierte en el territorio bajo mayor presión. Padre Abad e Irazola también reflejan una tendencia creciente, lo que confirma que, si persisten prácticas como la agricultura migratoria, la tala ilegal y la expansión agropecuaria, la deforestación seguirá avanzando.

En contraste, Neshuya y Alexander von Humboldt presentan proyecciones de reducción, posiblemente vinculadas a la saturación de suelos disponibles, la disminución de la actividad agrícola o un mayor efecto de medidas de control ambiental. En conjunto, la gráfica evidencia que la provincia de Padre Abad enfrenta un panorama preocupante: la deforestación continuará ampliándose si no se implementan acciones integrales de conservación y gestión sostenible, comprometiendo la estabilidad ecológica del territorio.

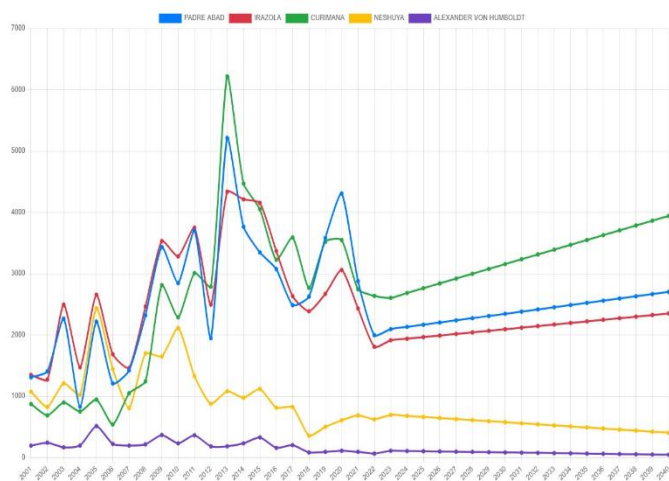


Fig. 12 Estimación de deforestación futura en Padre Abad: Análisis comparativo por distritos

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de las imágenes satelitales evidencian una transformación significativa del paisaje forestal en la provincia de Padre Abad entre 2005 y 2025. En 2005 aún predominaba la selva densa, aunque ya se observaban signos iniciales de presión antrópica. Entre 2010 y 2015 la deforestación se intensificó, con fuerte fragmentación del bosque asociada a la apertura de vías, la agricultura migratoria, la ganadería y la extracción maderera, lo que coincide con los hallazgos de [9] y otros estudios que identifican a Ucayali como una de las

regiones más afectadas por la pérdida de bosques amazónicos en ese periodo. Asimismo, investigaciones como en [14] destacan que la expansión de la red vial no oficial ha sido un factor decisivo en la aceleración de la deforestación, tal como se observa en este territorio entre 2005 y 2015.

En contraste, los años 2019 y 2025 muestran un cambio en la tendencia: aunque persiste la pérdida de cobertura, no se observa un incremento tan marcado y, en 2025, incluso aparecen indicios de recuperación, posiblemente vinculados a programas de conservación, proyectos de reforestación o procesos de regeneración natural tras el abandono de áreas agrícolas, como señala [4]. No obstante, la presencia de nubosidad en la imagen de 2025 limita la precisión de la interpretación, por lo que estos resultados deben analizarse con cautela y reforzarse con evaluaciones adicionales.

Los resultados sobre la pérdida de cobertura vegetal en los distritos de Padre Abad muestran su punto más crítico en 2015, con Curimaná e Irazola como los más afectados por la expansión agrícola, cultivos de palma y apertura de caminos [15]. En contraste, Padre Abad y Neshuya presentan patrones más variables, asociados a dinámicas de ocupación temporal y rotación de cultivos, lo cual coincide con [5]. El distrito Alexander von Humboldt registra la menor pérdida durante todo el periodo, probablemente por su cercanía a áreas naturales protegidas y una menor presión extractiva. Tras 2015, se observa una reducción de la deforestación en casi todos los distritos, posiblemente vinculada a un mayor control ambiental, uso de monitoreo satelital y políticas de conservación. Sin embargo, estos avances siguen siendo frágiles y podrían revertirse sin una gestión sostenida. En conjunto, los hallazgos reflejan un periodo de fuerte presión antrópica hasta mediados de la década de 2010, seguido de una estabilización relativa que requiere consolidarse para garantizar su efectividad a largo plazo.

La cobertura vegetal en la provincia de Padre Abad para 2015 muestran una relación estrecha entre el relieve y el grado de conservación. Zonas de difícil acceso, como los bosques de montaña basimontano (97,261 ha), bosques de montaña (57,250 ha) y terrazas altas (46,684 ha), mantienen altos niveles de cobertura, lo que refleja una menor intervención antrópica. En contraste, las áreas clasificadas como “no bosque amazónico” (48,892 ha), ubicadas principalmente en colinas accesibles, evidencian una fuerte transformación del paisaje por actividades agrícolas y ganaderas, lo que coincide con lo señalado en [8], quienes destacan que la deforestación en la Amazonía se concentra en terrenos más accesibles a la infraestructura vial y a la expansión agropecuaria.

Las gráficas de uso del suelo entre 2005 y 2023 refuerzan este patrón: en el periodo 2005–2015 se expandieron cultivos legales como arroz, maíz, plátano y algodón, impulsando la presión sobre los bosques, en concordancia con lo descrito en [5], quienes identifican la agricultura migratoria como un motor clave de deforestación. Posteriormente, entre 2019 y 2023, el crecimiento acelerado de los cultivos ilícitos de coca y la instalación de narcopistas confirman lo reportado en [4], al

señalar que estas prácticas ilegales son factores críticos de pérdida de bosque en la Amazonía occidental.

Además, los resultados de este estudio confirman una relación directa entre los cambios en la cobertura vegetal y las actividades humanas en la zona. De acuerdo con la referencia [7], en el primer trimestre de 2023 el 54,81 % de la deforestación estuvo asociada a cultivos ilegales de coca, mientras que el 44,79 % correspondió a cultivos legales, principalmente cacao y palma aceitera. Estas cifras refuerzan lo evidenciado en los mapas y gráficas, donde se observa que tanto la agricultura formal como la informal constituyen los principales motores de pérdida de bosque en la provincia, con impactos diferenciados, pero igualmente significativos sobre el paisaje amazónico.

Los resultados sobre la pérdida proyectada de cobertura vegetal en los distritos de Padre Abad coinciden con lo planteado en [6], quien señala que la deforestación en la zona está asociada no solo a la expansión agrícola, sino también a la falta de regulación efectiva del uso del suelo. Los distritos con mayor crecimiento proyectado corresponden a áreas con débil manejo territorial y expansión agroindustrial no planificada. De manera similar, la referencia [7] advierte que monocultivos como palma aceitera y cacao, aunque legales, han sido impulsores centrales de la pérdida de bosque en las últimas décadas, especialmente cuando se desarrollan sin una adecuada zonificación ecológica-económica. Según la referencia [16], Padre Abad figura entre las áreas críticas de deforestación en el territorio peruano, debido a la acumulación de actividades agrícolas legales e ilegales, la falta de control institucional y la débil implementación de instrumentos de planificación. En conjunto, estos hallazgos confirman que la pérdida proyectada de cobertura vegetal no es un proceso aleatorio, sino el resultado previsible de un modelo de ocupación territorial basado en la explotación rápida y desordenada de los recursos, lo que configura una transformación ecológica crítica en la provincia.

V. CONCLUSIONES

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la provincia de Padre Abad entre 2005 y 2025 evidencia una pérdida sostenida y significativa de áreas boscosas, impulsada por actividades antrópicas como la agricultura migratoria, los cultivos ilícitos de coca y la expansión de monocultivos legales (palma aceitera y cacao). Esta transformación del paisaje fue documentada con precisión mediante el uso de teledetección y SIG, que permitieron caracterizar la magnitud espacial y temporal de los cambios.

Los resultados muestran que, aunque en 2005 predominaba una vegetación densa, hacia 2015 la deforestación se intensificó drásticamente. Entre 2019 y 2025 la cobertura pasó de aproximadamente 320,000 a 180,000 píxeles, lo que representa una reducción cercana al 45 % en apenas seis años, confirmando la aceleración del proceso.

A nivel distrital, Curimaná registró la mayor pérdida, con más de 6,000 hectáreas deforestadas en 2013, seguido de Irazola, que alcanzó hasta 4,500 hectáreas anuales entre 2011 y 2015. En contraste, Neshuya y Alexander von Humboldt mostraron una disminución progresiva en la tasa de deforestación desde 2017, con cierta estabilización hacia 2024. Estas diferencias reflejan no solo la intensidad de las actividades humanas, sino también el impacto potencial de medidas locales de control y reforestación.

Las gráficas de evolución forestal muestran la inestabilidad de la cobertura vegetal en Padre Abad frente a la presión antrópica. El aparente incremento en 2010 (60,000 píxeles) fue rápidamente revertido con una reducción drástica a 15,000 píxeles en 2015, confirmando que los procesos de recuperación son frágiles y temporales. Las proyecciones hacia 2040, elaboradas con datos de GeoBosque y modelos en Python, anticipan una continuidad preocupante de la deforestación si no se implementan medidas correctivas urgentes.

Los resultados también evidencian que la pérdida de bosque no proviene únicamente de actividades ilegales: en 2023, un 54,81 % de la deforestación estuvo asociada a cultivos ilícitos de coca, mientras que el 44,79 % correspondió a agricultura legal (palma y cacao). Esto demuestra que tanto las prácticas formales como las informales contribuyen de manera significativa a la degradación ambiental.

La provincia de Padre Abad conserva una importante cobertura forestal en bosques de montaña y basimontanos; no obstante, enfrenta una presión creciente sobre sus ecosistemas debido a la expansión agrícola en zonas accesibles como terrazas y colinas bajas. Este proceso se refleja en el incremento de áreas clasificadas como “no bosque amazónico” (13,68 % del territorio), lo que evidencia un cambio de uso del suelo no planificado, asociado a la pérdida de biodiversidad, la fragmentación de hábitats y el deterioro de servicios ecosistémicos clave. Estos hallazgos ponen de relieve la urgente necesidad de una zonificación ecológica y económica que ordene el desarrollo territorial y garantice la sostenibilidad ambiental.

Asimismo, el estudio ofrece una visión integral del estado y evolución de los ecosistemas forestales en Padre Abad, confirmando una transformación acelerada y preocupante. El empleo de herramientas como Python, QGIS y la teledetección demostró ser una estrategia eficaz, accesible y replicable para el monitoreo ambiental en regiones vulnerables. Los resultados constituyen, por tanto, una base científica valiosa para la planificación territorial sostenible, apoyando la toma de decisiones orientadas a la conservación y restauración de los ecosistemas amazónicos.

VI. RECOMENDACIONES

Ante la acelerada pérdida de cobertura vegetal registrada entre 2005 y 2015, así como las proyecciones de deforestación hacia 2040, se recomienda que las autoridades responsables de los recursos forestales y fauna en Ucayali prioricen acciones de conservación, restauración y control del uso del suelo, con

especial atención en los distritos de Curimaná, Irazola y Padre Abad, donde se concentran los mayores impactos ambientales.

Asimismo, se sugiere replicar esta metodología de análisis multitemporal con SIG y teledetección en otras provincias de Ucayali y regiones amazónicas, a fin de conformar un sistema regional estandarizado de información ambiental. Esto permitirá identificar zonas críticas, patrones de deforestación y tendencias comunes, fortaleciendo la planificación territorial, el diseño de políticas integradas y una gestión forestal sostenible a nivel macrorregional.

REFERENCIAS

- [1] D. Mucha, "Análisis de la variación de la cobertura y uso actual de tierras de la subcuenca del Cunus durante el periodo 1987-2017," Tesis de título profesional, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Univ. Continental, Huancayo, Perú, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8451>
- [2] P. Gonzales, "Análisis de la cobertura vegetal de la microcuenca Chorrillos, distrito de Huancayo, 2023," Tesis de título profesional, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Univ. Continental, Huancayo, Perú, 2024. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/15634>
- [3] N. Mahtani, "Brasil y Colombia lideran la lucha contra la deforestación; Bolivia y Nicaragua, entre los que más bosques talan," El País, 4 abr. 2024. <https://elpais.com/america/futura/2024-04-04/brasil-y-colombia-lideran-la-lucha-contra-la-deforestacion-bolivia-y-nicaragua-entre-los-que-mas-bosquestalan.html>
- [4] C. Meza y A. Díaz, "Evaluación de la deforestación y sus impactos ambientales: provincia de Padre Abad," Investigaciones Sociales, vol. 15, no. 27, pp. 121-131, 2011. <https://core.ac.uk/reader/304897630B>
- [5] A. Castillo Quiliano y L. Riveros Torres, "Potencial maderable, biomasa y captura de carbono en áreas abandonadas por el cultivo de *Erythroxylum coca* Lam. (coca) en Irazola – Ucayali, Perú," Revista Forestal del Perú, vol. 37, no. 2, pp. 109-122, 2022. <https://doi.org/10.21704/rfp.v37i2.1952>
- [6] L. Lora Escalante, "Simulación geoespacial de la deforestación al año 2032 en el distrito Padre Abad – Ucayali," Tesis de licenciatura, Univ. Nac. Agraria de la Selva, 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2377>
- [7] Gobierno Regional de Ucayali, "Cultivos ilícitos y parcelas agrícolas son las causas de la deforestación en lo que va del 2023," Plataforma del Estado Peruano, 21-mar-2023. <https://www.gob.pe/institucion/regionucayali/noticias/728827-cultivos-ilicitos-y-parcelas-agricolas-son-las-causas-de-la-deforestacion-en-lo-que-va-del-2023>
- [8] E. Miranda y G. H. Celi, "Estudio de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*, Jacq), cacao (*Theobroma cacao*, L.) y su efecto en el medio ambiente en el periodo 2000-2020 en la provincia de Padre Abad - Región Ucayali," Rev. Tzhocoen, vol. 8, no. 2, 2016. <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/402/392>
- [9] Global Forest Watch, "Padre Abad, Ucayali, Perú: Tasa de deforestación y estadísticas," 2025. [En línea]. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/PER/26/3/>
- [10] N. M. Nina Dilas, "Zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante modelamiento geoespacial en la cuenca del río Moquegua, 2021," Tesis de licenciatura, Univ. Privada de Tacna, 2021. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2145>
- [11] R. H. Puerta Tuesta, J. A. Iannacone Oliver, y M. E. Reátegui Inga, "Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global," Ingeniería y competitividad, vol. 25, no. 3, e-30612708, sep. 2023. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i3.12708>
- [12] A. Blanco Gómez, "Librería de Python para fusión espacio-temporal de imágenes de teledetección," Trabajo Fin de Grado, E.T.S. de Ingenieros Informáticos, Univ. Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2021. <https://oa.upm.es/68961/>
- [13] Municipalidad Provincial de Padre Abad, "Plan de Gobierno 2019–2022 – Democracia Directa Padre Abad," 2019. [En línea]. <https://peruvotoinformado.com/descargas/pg/plan-de-gobierno-de-bilsan-salazar-uzuriaga.pdf>
- [14] J. Lozano, "Evaluación temporal de la cobertura vegetal mediante teledetección en la provincia de Huanta - Ayacucho, 2017-2021," Tesis de licenciatura, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Univ. Continental, Huancayo, Perú, 2024. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/15746>
- [15] Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, "Evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de la tierra: Distrito de Padre Abad, departamento de Ucayali, Perú," Programa de Cambio Climático, Desarrollo Territorial y Ambiente (PROTERRA), 2017. [En línea]. http://terra.iiap.gob.pe/assets/files/riesgos/2017/01_2017_EVALUACION_CCUT_PADRE_ABAD.pdf
- [16] J. Gallegos, "Alarma: Deforestación en Ucayali," La República, 1-oct-2017. [En línea]. <https://www.actualidadambiental.pe/wp-content/uploads/2017/10/La-Republica-Domingo01.pdf>