

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES



**COBERTURA VEGETAL DE LOS AÑOS 2020 Y 2025 EN EL DISTRITO DE
PICHARI, CUSCO, PERÚ.**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PRESENTADOS POR:

YOSY MARGOT GONZALES SHAREVA

Tingo María – Perú

2026



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 075-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 28 de mayo de 2026, a horas 04:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

**“COBERTURA VEGETAL DE LOS AÑOS 2020 Y 2025 EN EL DISTRITO DE
PICHARI, CUSCO, PERÚ”**

Presentado por la Bachiller: **GONZALES SHAREVA, YOSY MARGOT** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 01 de julio de 2026

Ph. D. LUIS ALBERTO VALDIVIA ESPINOZA
PRESIDENTE

Ing. MSc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
MIEMBRO



Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO

Dr. RONALD HUGO PUERTA TUESTA
ASESOR

Ing. MSc. LEODAN TORIBIO DUEÑAS
ASESOR



VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 215 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
COBERTURA VEGETAL DE LOS AÑOS 2020 Y 2025 EN EL DISTRITO DE PICHARI, CUSCO, PERÚ	YOSY MARGOT GONZALES SHAREVA	12 % Doce	0 % Cero

Tingo María, 15 de julio de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES



COBERTURA VEGETAL DE LOS AÑOS 2020 Y 2025 EN EL DISTRITO DE
PICHARI, CUSCO, PERÚ

Autor	: Yosy Margot Gonzales Shareva
Asesor (es)	: Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta MSc. Leodan Toribio Dueñas
Programa de investigación	: Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología.
Línea de investigación	: Manejo del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático.
Eje temático	: Monitoreo de la deforestación y adaptación al cambio climático.
Lugar de ejecución	: Distrito de Pichari – Cusco
Duración del trabajo	: 7 meses
Financiamiento	: S/. 3 422,10
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo María – Perú Enero, 2026.

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por haberme permitido llegar a este momento tan importante de mi formación profesional, por acompañarme cada día y por escuchar cada una de mis oraciones a lo largo de este camino.

A mis padres, que hoy no están físicamente conmigo, pero cuya presencia ha sido constante en cada paso de este camino. Gracias por los esfuerzos, sacrificios y valores que sembraron en mí, porque fueron el cimiento que me permitió llegar hasta aquí. Este logro también les pertenece.

A mi hermana Angela Gonzales, por sus consejos oportunos, por el ánimo constante que me brindaron en este proceso.

A mí misma, por atreverme a continuar y culminar este proceso, por no rendirme a pesar de las dificultades, no fue fácil; hubo cansancio y momentos de desánimo, pero también fortaleza, disciplina y perseverancia. Este trabajo es prueba de que el esfuerzo constante da frutos.

Finalmente, a las amigas (os) que, cuyo acompañamiento y apoyo moral fueron valiosos para el desarrollo de este proceso académico. Este logro representa no solo el cierre de una etapa académica, sino también el inicio de nuevos retos y oportunidades.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por las bendiciones recibidas a lo largo de esta etapa de mi vida, por guiar mis decisiones y proyectos, y por permitirme vivir, aprender y compartir este camino junto a mis seres queridos.

Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a mis padres y mi hermana, por su amabilidad y apoyo constante. A mi familia, les expreso mi más sincero cariño y gratitud.

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente, así como por los conocimientos, valores y herramientas adquiridas a lo largo de mi formación académica

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a los docentes de la Escuela Profesional de RNR, quienes contribuyeron a mi formación académica brindándome sus conocimientos y experiencias. De manera especial, agradezco al Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta y al Msc. Leodan Toribio Dueñas, por su valioso asesoramiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de la presente investigación, permitiendo la culminación de esta tesis. Gracias por la confianza depositada y por el compromiso demostrado en este trabajo anhelado.

Finalmente, agradezco a mis amigas (os) y compañeras de la universidad por los ánimos, la alegría y el acompañamiento brindado en los buenos y malos momentos. Gracias por estar siempre presentes con palabras de apoyo y motivación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. Bosque	3
2.1.2. Importancia del bosque en el Perú.....	3
2.1.3. Cobertura vegetal y uso del suelo	3
2.1.4. Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo.....	4
2.1.5. Deforestación	4
2.1.6. Causas de la deforestación	5
2.1.7. Deforestación en el distrito de Pichari	5
2.1.8. Fundamentos de la teledetección espacial	6
2.1.9. Teledetección	6
2.1.10. Territorios artificizados	7
2.1.11. Resoluciones de un sensor	7
2.1.12. Sistema de información geográfica (SIG)	7
2.1.13. Imágenes satelitales	8
2.1.14. Tipos de imágenes satelitales.....	8
2.1.15. PlanetScope.....	8
2.1.16. Random Forest.....	9
2.1.17. Clasificación de imágenes satelitales.....	9
2.1.18. Sistema de Análisis Geocientíficos Automatizado (SAGA) GIS	10
2.1.19. Software ArcGIS.....	10
2.1.20. Dron	10
2.1.21. Verificación de los mapas.....	11
2.1.22. Validaciones de resultados.....	11
2.2. Estado del arte.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Lugar de ejecución.....	17
3.1.1. Ubicación geográfica	17
3.1.2. Ubicación política	17

3.1.3.	Altitud	17
3.1.4.	Clima.....	17
3.1.5.	Zonas de vida	18
3.1.6.	Suelo	18
3.1.7.	Fisiografía	18
3.1.8.	Accesibilidad	18
3.2.	Material y métodos	18
3.2.1.	Materiales y equipos	18
3.2.2.	Metodología	19
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Clasificación y cuantificación de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito Pichari.	30
4.2.	Cálculo de la exactitud temática de cobertura vegetal del año 2020 y 2025 en el distrito de Pichari.	34
4.3.	Estimación de los cambios de cobertura vegetal del 2020 al 2025 en el distrito de Pichari.	39
4.3.1.	Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo	39
4.3.2.	Matriz de transición del 2020 al 2025	40
4.3.3.	Tasa de cambio	40
V.	CONCLUSIONES	43
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	44
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
	ANEXO.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Banda del Satélite PlanetScope	9
2. Coordenada UTM (DatumWGS 84) de la zona de investigación	17
3. Propiedades de las imágenes satelitales en el proceso de clasificación.	21
4. Clases de cobertura y uso del suelo para el distrito de Pichari.....	21
5. Matriz de confusión.....	23
6. Escala de interpretación de coeficiente Kappa.....	24
7. Ganancias y pérdidas de la matriz de transición	24
8. Clasificación y cuantificación de la cobertura vegetal y uso del suelo.	30
9. Matriz de confusión del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo 2020.....	34
10. Matriz de confusión del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo 2025.	35
11. Dinámica de cambio del periodo 2020 y 2025.....	39
12. Transición del periodo 2020 al 2025.....	40
13. Tasa de cambio del periodo 2020 al 2025.....	41
14. Comprobación de la precisión temática del mapa para el año 2025	55
15. Comprobación de la precisión temática del mapa para el año 2020	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Pérdida de bosque (2001 – 2024) en el distrito de Pichari.	6
2. Ubicación del área en estudio	17
3. Plataforma MIDAGRI – PLANET.....	19
4. Imágenes Satelitales del distrito de Pichari.	20
5. Esquema del procedimiento metodológico.	29
6. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2020.	32
7. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2025.	33
8. Evaluación comparativa de la exactitud temática de los mapas de cobertura vegetal (2020 y 2025).	35
9. Sitios de validación georreferenciados para la exactitud temática del año 2020.	37
10. Sitios de validación georreferenciados para la exactitud temática del año 2025.	38
11. Tasa de cambio en ha/año (2020 – 2025).	41
12. Mapa base del distrito de Pichari.....	52
13. Mapa de pérdida de bosque – Geobosque del 2001 al 2024.	53
14. Mapa de área naturales protegidas.	54
15. Visualización espacial de las coberturas en el área de estudios.	63
16. Cobertura de bosque en el centro poblado Catarata.	64
17. Cobertura de vegetación secundaria.	64
18. Cobertura de vegetación secundaria.	65
19. Cobertura de áreas agrícolas con dron – plátano en crecimiento.	65
20. Cobertura de áreas agrícolas – plátano.	66
21. Cobertura de zonas urbanas.	66
22. Áreas urbanas y piscigranjas.	67
23. Cobertura de ríos.	67
24. Orilla del río.	68
25. Vuelo de dron, para tomar imágenes aéreas.	68
26. Áreas de bambú.	69
27. Cultivos de piña.	69
28. CCPP de San Martin Otari.	70

RESUMEN

La deforestación en el distrito de Pichari, Cusco, Perú, ha experimentado un proceso acelerado en los últimos años debido a la expansión agrícola y la migración humana. El objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios de la cobertura vegetal durante el periodo 2020 – 2025. Para ello, se utilizaron imágenes PlanetScope y se aplicó el algoritmo Random Forest, implementando en el software SAGA GIS, permitiendo una clasificación supervisada, así como la cuantificación, análisis de la exactitud temática y la dinámica de cambios. Los resultados mostraron que bosque disminuyó de 69 730,42 ha (85,79%) a 68 649,27 ha (84,46%) indicando deforestación. Las áreas agrícolas Heterogéneas aumentaron de 8 017,33 ha (9,86%) a 8 843,75 ha (10,88%). La exactitud temática fue de 87,06% con un índice Kappa de 0,84 en 2020 a 89,41% con un índice Kappa de 0,87 en 2025. En cuanto a los cambios se registraron incrementos en las áreas agrícolas Heterogéneas (910,68 ha) y vegetación secundaria (216,29 ha), mientras que bosque perdió 1 081,15 ha, con una tasa de deforestación anual de 216,23 ha/año (-0,31%). Estos resultados reflejan la expansión de las actividades agrícolas por lo que la cobertura vegetal ha disminuido significativamente en el periodo estudiado.

Palabras clave: PlanetScope, exactitud temática, cobertura vegetal, deforestación, VRAEM.

ABSTRACT

Deforestation in the district of Pichari, Cusco, Peru, has accelerated in recent years due to agricultural expansion and human migration. The objective of this research was to evaluate changes in vegetation cover during the period 2020-2025. To this end, PlanetScope images were used and the Random Forest algorithm, implemented in SAGA GIS software, was applied, allowing for high-precision supervised classification, as well as quantification, thematic accuracy analysis, and change dynamics. The results showed that forest cover decreased from 69 730,42 ha (85,79%) to 68 649,27 ha (84,46%), indicating deforestation. Heterogeneous agricultural areas increased from 8 017,33 ha (9,86%) to 8 843,75 ha (10,88%). Thematic accuracy improved from 87,06% with a Kappa index of 0,84 in 2020 to 89,41% with a Kappa index of 0,87 in 2025. In terms of changes, increases were recorded in heterogeneous agricultural areas (910,68 ha) and secondary vegetation (216,29 ha), while forests lost 1 081,15 ha, with an annual deforestation rate of 216,23 ha/year (-0,31%). These results reflect the expansion of agricultural activities and underscore the need to implement sustainable management strategies to mitigate deforestation and promote the conservation of forest ecosystems.

Keywords: PlanetScope, thematic accuracy, vegetation cover, deforestation, VRAEM.

I. INTRODUCCIÓN

La pérdida de cobertura forestal constituye uno de los principales desafíos ambientales de las últimas décadas a nivel mundial, entre las causas de este fenómeno, la migración humana ocupa un lugar importante, de que las poblaciones, en su búsqueda de mejores condiciones de vida y nuevas oportunidades sociales, culturales y económicas, suelen expandirse hacia áreas con suelos fértiles y climas favorables. Esta presión se manifiesta de manera particular en el ámbito agrícola, donde el interés por desarrollar cultivos de alta demanda global ha impulsado la conversión de bosques en tierras de cultivos (Naciones Unidas, 2023).

En Perú, esta presión es crítica en el bosque amazónico, en la región Cusco entre 2001 y 2024 alcanzó un total de 111 446 hectáreas deforestadas, con los mayores picos de deforestación en 2017 (12 181 ha), 2018 (9 643 ha) y 2019 (7 103 ha). Dentro de esta región, la provincia de La Convención registró 90 592 hectáreas de pérdida forestal en el mismo periodo, con sus valores más altos en 2017 (9 673 ha), 2018 (7 724 ha) y 2020 (7 218 ha). A nivel distrital Pichari mostró un patrón similar con un total de 9 264 hectáreas, con un incremento desde 2016, alcanzando su punto máximo en 2017 (1 116 ha) y en el 2018 (1 014 ha) (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2024).

En la provincia de La Convención, distrito de Pichari se presenta una dinámica de deforestación asociada a la expansión de actividades antrópicas que generan cambios en la cobertura vegetal. Entre los principales factores se encuentran la expansión de las áreas agrícolas, la tala de bosques, la minería ilegal y el crecimiento urbano descontrolado característico de la denominada ciudad cocalera en el VRAEM, procesos que han contribuido a la transformación progresiva del paisaje en el ámbito. Particularmente, el año 2020 marcó un hito debido a la crisis sanitaria global por el Covid-19, la cual generó dinámicas sociales atípicas, como procesos de migración de retorno hacia zonas rurales y una reconfiguración de las actividades económicas locales. Esta situación refleja las estadísticas oficiales, donde el año 2020 registró el pico más alto de deforestación en el distrito con 509 hectáreas de pérdidas. El problema central radica en que no se ha analizado con imágenes de alta resolución si este incremento fue una respuesta directa a la presión humana durante la pandemia o si forma parte de una tendencia sostenida. Existe un vacío de información técnica que no permite comparar este escenario crítico de 2020 con la situación actual de 2025, lo que dificulta entender la resiliencia del bosque y la efectividad de la gestión territorial post-pandemia. La ausencia de información espacial detallada limita la implementación y estrategias de ordenamiento

territorial y conservación, incrementando la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales frente a la degradación y pérdida de cobertura vegetal.

En ese sentido, para la presente investigación se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuánto es la superficie de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito Pichari, Cusco, Perú?

La investigación se justifica por la necesidad de contar con la información actualizada sobre la cobertura vegetal del distrito de Pichari, permitiendo identificar los cambios ocurridos entre el 2020 y 2025 en un contexto de alta presión antrópica y reactivación económica posterior a la pandemia del COVID-19. Asimismo, el uso de imágenes satelitales PlanetScope y técnica de clasificación avanzada permitió generar información técnica confiable para apoyar el ordenamiento territorial, la gestión ambiental y la toma de decisiones orientadas al manejo sostenible de los recursos naturales por parte de las instituciones públicas del distrito.

Los resultados proporcionan información técnica confiable y actualizada sobre la cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en el distrito de Pichari durante el periodo 2020 – 2025. Mediante el uso de imágenes satelitales PlanetScope y al algoritmo Random Forest se obtuvo una caracterización detallada de las coberturas vegetales, incluso en áreas pequeñas o fragmentadas. Asimismo, el estudio permitió elaborar una línea base actualizada que constituye un instrumento de apoyo para el ordenamiento territorial, la gestión sostenible de los recursos naturales. Los resultados proporcionan información clave para la toma de decisiones por parte de la Municipalidad Distrital de Pichari y demás instituciones vinculadas a la gestión del territorio.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Analizar la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari, Cusco, Perú.

1.1.2. Específicos

- Clasificar y cuantificar la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari.
- Calcular la exactitud temática de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari.
- Estimar los cambios de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Bosque

De acuerdo con la FAO (2012), se considera bosque a aquellas tierras con una extensión mayor a 0,5 hectáreas, conformadas por árboles que alcanzan una altura superior a 5 metros y con una cobertura de copa mayor al 10%. En la misma línea, el MINAM (2024) comparte esta definición, aunque introduce una variable: clasifica como bosque áreas que cumplen con los criterios de superficie y cobertura, pero cuyo arboles superan los 2 metros de alturas.

2.1.2. Importancia del bosque en el Perú

Los bosques desempeñan un papel esencial para la vida en el planeta; sin embargo, en un país como el Perú, cuya superficie cuenta con aproximadamente 57% de cobertura vegetal, su relevancia se extiende también al ámbito económico y social. Estos ecosistemas aportan servicios ambientales fundamentales, entre los que destacan la captura y almacenamiento de carbono, la regulación hídrica, la provisión de agua y la conservación de la biodiversidad, generando beneficios directos e indirectos para toda la sociedad. Asimismo, los bosques constituyen el hogar y medio de vida de numerosos centros poblados, cuyas costumbres, practican y cosmovisión han contribuido durante milenios a su preservación. El conocimiento ancestral y las prácticas de manejo sostenible de estas comunidades representan un valor incalculable, tanta cultural como practico, para garantizar la conservación de los bosques en beneficio del país y planeta (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016).

2.1.3. Cobertura vegetal y uso del suelo

La característica de la cobertura terrestre y del uso del suelo, así como el análisis de sus cambios espacio - temporales en relación con las actividades humanas, resulta esencial para comprender y predecir la dinámica de los componentes del paisaje. Este tipo de estudio constituye además un marco de referencia para investigar los procesos de sucesión ecológica, la dinámica de los ecosistemas y el diseño de políticas orientadas a la planificación territorial, la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales.

Es importe diferenciar ambos conceptos, la cobertura vegetal hace referencia a las superficie naturales o artificiales que lo recubren, ya sean de origen natural – bosques, sabanas, lagunas o resultados de ambientes creados por el ser humano. Por su parte, el uso del suelo refleja las acciones humanas que se desarrollan sobre dicha cobertura, generando asentamientos y actividades productivas destinadas a satisfacer necesidades sociales y económicas, como cultivos, ciudades o represas. Estas formas de uso son producto de la

interacción entre factores físicos y naturales, así como de condiciones culturales y sociales (FAO, 2016)

2.1.4. Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo

En las últimas décadas, la pérdida de cobertura vegetal y el cambio en el uso del suelo se han consolidado como factores determinantes del cambio global, generando transformaciones profundas en los ecosistemas terrestres. La mayoría de estos procesos se relaciona con la conversión de áreas boscosas hacia otros usos y con la degradación o intensificación del suelo, fenómenos usualmente englobados bajo los terminos de deforestación o degradación forestal. Dichos procesos ocasionan impactos ecológicos significativos en diversas escalas (Bocco et al., 2018).

En sus primeras aproximaciones, los estudios sobre cambio de uso del suelo consideraban estas transformaciones como la conversión de bosque en tierras agrícolas o la degradación por sobrepastoreo como procesos irreversibles, homogéneos y lineales (Lambin et al., 2016). Sin embargo, los análisis más recientes adoptan una perspectiva holística, en el cual se reconoce que estos cambios son no lineales, tanto en el espacio como en el tiempo, y responden a múltiples causas e interacciones complejas (Singh y Khunduri, 2018).

Actualmente, distintas regiones del mundo atraviesan un proceso acelerado de cambio en su cobertura vegetal, lo que ha modificado de manera significativa la estructura del paisaje. Estos cambios, originados principalmente por actividades antropogénicas, han reforzado la necesidad de comprender la dinámica cobertura/uso del suelo y sus implicancias sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Lambin et al., 2016).

2.1.5. Deforestación

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 2012) define la deforestación como la conversión directa, por acción humana, de tierras boscosas en tierras no forestales. En la misma línea, la FAO (2015) la describe como la transformación de los bosques hacia otro tipo de uso del suelo o la reducción permanente de la cubierta arbórea por lo debajo del umbral mínimo del 10% de dosel.

En términos prácticos, la deforestación se entiende como la pérdida total de cobertura forestal ocasionando por la tala y quema de vegetación, la expansión agrícola y ganadera, el desarrollo de industrias extractivas o la construcción de infraestructura, como carreteras y asentamiento humanos.

Las consecuencias de este proceso son múltiples. En el Amazonia, por ejemplo, la deforestación implica no solo la emisión de gases de efecto invernadero, sino también la pérdida de biodiversidad y de medios de subsistencia para los pueblos indígenas.

Incluso en las áreas convertidas en tierras agrícolas, los impactos son notorios: la reducción de la humedad limita la disponibilidad de agua, el aumento de la temperatura favorece la propagación de plagas y enfermedades, y la disminución de polinizadores reduce la productividad agrícola (MINAM, 2016).

2.1.6. Causas de la deforestación

En la amazonia peruana, la agricultura migratoria constituye la principal causa directa de la deforestación. Este sistema se caracteriza por la tala, tumba y quema de bosque realizada por colonos con el fin de habilitar tierras de cultivo de subsistencia. Sin embargo, debido al rápido agotamiento de la fertilidad del suelo, estas áreas son abandonadas, lo que genera un patrón de desplazamiento continuo hacia nuevas zonas boscosas y, en consecuencia, una expansión progresiva de la deforestación (MINAM, 2019).

En el distrito de Pichari, además de la agricultura migratoria, se identifican otras causas directas que intensifican la pérdida de cobertura forestal. Entre ellas destacan los cultivos agrícolas, que impulsan de manera significativa la transformación de áreas boscosas en terrenos agrícolas, generando presión constante sobre los ecosistemas locales. Asimismo, la tala ilegal y las malas prácticas de extracción de madera son actividades frecuentes que deterioran los bosques, mientras que los proyectos de infraestructura vial y de expansión urbana incrementan la fragmentación del paisaje.

2.1.7. Deforestación en el distrito de Pichari

El análisis de la pérdida de bosque amazónico en la provincia de La Convención revela patrones diferenciados de deforestación entre sus zonas. En toda la provincia, la pérdida acumulada entre 2001 y 2024 asciende a 90 592 hectáreas, con los años de mayor impacto en 2017 (9 673 ha), 2018 (7 724 ha) y 2020 (7 218 ha).

Dentro de la provincia, el distrito de Pichari muestra una dinámica particular. Aunque su deforestación acumulada es menor en comparación con la provincia en su conjunto, alcanzando 5 303 hectáreas en el mismo periodo, en el cual se resalta la pérdida de los últimos 5 años (2020- 2024) donde se resalta los picos más altos es en el 2020 con 509 hectáreas y 2021 con 246 hectáreas, en todo el lapso del tiempo mencionado la pérdida de bosque es de 1 039 hectáreas (MINAM, 2024).

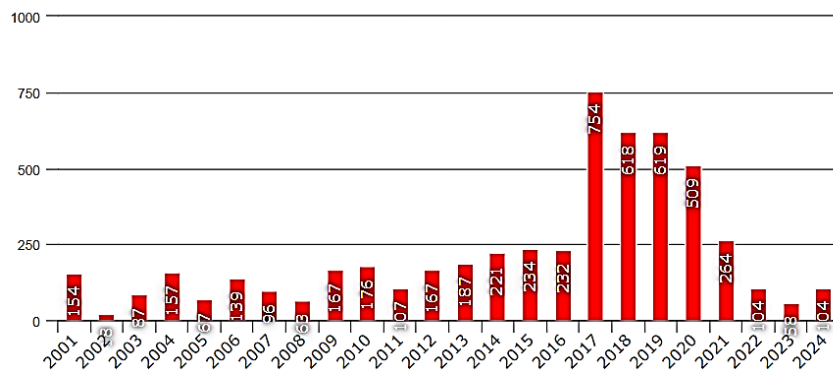


Figura 1. Pérdida de bosque (2001 – 2024) en el distrito de Pichari.

2.1.8. Fundamentos de la teledetección espacial

La teledetección espacial se define como la técnica que permite obtener imágenes de la superficie terrestre mediante sensores instalados en plataformas espaciales. Según Chuvieco (1990), este proceso se basa en la interacción energética entre las superficies y el sensor, ya sea a través de la reflexión de la energía solar, de un haz energético artificial o de la emisión propia de la superficie.

Asimismo, los datos satelitales ofrecen información coherente y comparable a escala global, lo que posibilita realizar estimaciones más precisas sobre el cambio en distintos momentos del tiempo. Sin embargo, la teledetección no sustituye la necesidad de recopilar datos de campo. Por lo contrario, la combinación de imágenes satelitales con información in situ genera resultados más robustos que los obtenidos por separado (Gerrand et al., 2011).

2.1.9. Teledetección

Se entiende como una técnica que posibilita la obtención de información acerca de objetos presentes en la superficie terrestre o en la atmósfera sin necesidad de un contacto directo, es decir, mediante el uso de sensores a distancia. Asimismo, diversos autores plantean que este concepto abarca no solo la captura de información, sino también su procesamiento, análisis y aplicación práctica, en esta línea, señala que a través de la teledetección es posible acceder a tres tipos de datos complementarios (Lara, 2014):

- Espacial, que proporcionan información sobre la distribución de los elementos en el territorio.
- Espectral, que describen las características de la reflexión de la radiación luminosa en las superficies analizadas.
- Temporal, que permite identificar los cambios o transformaciones que ocurren en un área determinada a lo largo del tiempo.

2.1.10. Áreas artificias

Corresponden a las áreas de las categorías por centros urbanos y asentamientos poblados, así como a los espacios que se encuentran en proceso de incorporación al entorno urbano debido a la expansión de las ciudades y a los cambios en el uso del suelo destinados a actividades comerciales, industriales de servicios o recreativas de acuerdo con la clasificación Corine Land Cover, estos territorios se estructuran en categorías de nivel I: zonas urbanizadas, áreas industriales, zonas de explotación minera e hidrocarburífera y espacios verdes artificializados no destinados a actividades agrícolas. Dichas transformaciones reflejan la expansión urbana y la modificación del territorio en función de nuevas demandas socioeconómicas y de infraestructura (IDEAM, 2010).

2.1.11. Resoluciones de un sensor

De acuerdo con Bravo (2017), la resolución de un sensor es una característica fundamental que diferencia las capacidades de las imágenes generadas por diferentes satélites. Esta resolución puede clasificarse en varios tipos:

- Resolución radiométrica: se refiere al número de tonalidades de grid que una imagen satelital puede presentar, y se calcula como dos elevado al número de bits.
- Resolución espacial: indica el tamaño correspondiente a un pixel y está directamente relacionada con el nivel de detalle de los objetivos presentes en la imagen.
- Resolución temporal: representa el intervalo de tiempo necesario para que el satélite vuelva a capturar datos sobre un área específica. La frecuencia de cobertura depende de la trayectoria, altura, velocidad e inclinación del satélite.
- Resolución espectral: se refiere al número y la anchura de las bandas espectrales que el sensor del satélite puede captar.

2.1.12. Sistema de información geográfica (SIG)

Sistema que integra un conjunto de software y hardware, personas e información geográfica diseñado específicamente para la adquisición, análisis, almacenamiento, edición y representación de datos georreferenciados. Generando resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc (Olaya, 2014). Surgieron en las décadas de los sesenta y setenta, impulsados por avances tecnológicos y la necesidad de gestionar datos geográficos complejos. Los lanzamientos de satélites como los Kosmos de Rusia, el TIROS-I de la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio [NASA] y Astérix de Francia fueron fundamentales en este desarrollo. Además, los satélites LANDSAT, especialmente LANDSAT-2 en 1975 y LANDSAT-7 en 1999, han sido cruciales para estudios geoespaciales. (Olaya, 2020).

Esta prevalencia se refleja en una amplia gama de disciplinas desde la ecología hasta la planificación urbana, y la epidemiología hasta los estudios sociales (Bonilla et al., 2024).

2.1.13. Imágenes satelitales

Se componen de matrices de celdas, denominadas píxeles, que están organizadas en filas y columnas. Cada pixel representa una unidad geográfica invisible, lo que determina el nivel de detalle espacial que se puede percibir en la imagen. La energía reflejada depende de los objetivos que se encuentra en la superficie y los sensores instalados en los satélites capturan diferentes niveles y cualidades de esta energía, los cuales luego se traducen en colores en la imagen final (Chuvienco, 2011). Estas imágenes se generan mediante un sensor colocado en un satélite artificial, que captura la radiación electromagnética reflejada o emitida por un objeto. Esta información se transmite a estaciones en la tierra, donde se visualiza, procesa y analiza (Axessent. 2023).

2.1.14. Tipos de imágenes satelitales

Varían según el número de bandas que posea el satélite y el ángulo de observación de la imagen, lo cual proporciona un mayor nivel de detalle y mejora la calidad de la información obtenida. Según Bravo (2018), existen cuatro tipos principales de imágenes satelitales:

- Imagen multiespectral: contiene datos numéricos en cada pixel y está compuesta por varias bandas que el sensor del satélite puede detectar, permitiendo obtener las firmas espectrales de los objetivos observados.
- Imagen pancromática: es una imagen en escala de grises que tiene una alta resolución espacial, lo que permite detectar detalles que no se distinguen en imágenes multiespectral.
- Imagen fusionada: es el resultado de combinar una imagen multiespectral y una pancromática para mejorar la resolución espacial de la imagen.
- Imágenes estéreo: consiste en dos imágenes capturadas desde diferentes ángulos, productos de la reorientación del sensor.

2.1.15. PlanetScope

La constelación de microsátélites de Planet Labes captura imágenes diarias de la tierra con una resolución de 3 metros y 4 bandas multiespectrales (azul, verde, rojo e infrarrojo), que se utilizan para monitorear cambios en el uso del suelo y bienes comerciales. Planet proporciona una plataforma para el procesamiento y entrega de estas imágenes, facilitando la toma de decisiones basada en datos de manera más eficiente. Además, ofrece

licencias gratuitas para fines de investigación académica. El análisis de alta resolución que ofrece esta constelación resulta especialmente útil en la planificación agrícola sostenible, la detección de enfermedades en cultivo y la estimación de rendimientos, contribuyendo a la seguridad alimentaria (Planet, 2022). En la tabla 1 se muestra las características del satélite que presenta 4 bandas de 3,7 m de resolución y sus respectivas longitudes de ondas.

Tabla 1.Banda del Satélite PlanetScope

Descripción de banda	Longitud de onda (nm)	Resolución espacial
Azul	455 – 515 nm	3,7
Verde	500 – 590 nm	3,7
Rojo	590 – 670 nm	3,7
NIR	780-860 nm	3,7

Fuente: Planet, 2022

2.1.16. Random Forest

El clasificador Random Forest (RF) genera múltiples árboles de decisiones para identificar datos geográficos. Se recomienda seleccionar la temporada más adecuada para clasificar clases de objetivos específicos (Breiman,2001).

En el análisis de la cobertura vegetal del distrito de Pichari, uso de Random Forest permitió clasificar diferentes tipos de vegetación y detectar cambios en el uso del suelo a través del procesamiento de imágenes satelitales de alta resolución obtenidas de PlanetScope. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y considerar diversas variables sin generar sobreajuste lo convierte en una herramienta eficaz para identificar áreas deforestadas, degradadas o en proceso de recuperación, proporcionando datos esenciales para la gestión ambiental y la toma de decisiones sobre la conservación de los bosques (Nakamo et al., 2022).

La habilidad de este algoritmo para procesar grandes cantidades de datos y conjuntos multidimensionales lo convierte en uno de los mejores métodos de clasificación supervisada para el análisis de cobertura terrestre (Tarazona, 2019).

2.1.17. Clasificación de imágenes satelitales

La clasificación digital de imágenes consiste en categorizar una imagen que contiene varias bandas. Desde una perspectiva estadística, este proceso implica convertir una variable continua en una escala nominal o categórica (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014). Existe dos tipos de clasificación supervisada y no supervisada. La clasificación supervisada requiere cierto conocimiento previo sobre la zona (generalmente obteniendo mediante trabajo de campo), y se seleccionan muestras (áreas de entrenamiento) que se utiliza para realizar los cálculos. En contraste, la clasificación no supervisada no requiere información previa sobre el área y su búsqueda de homogeneidad se realiza de manera automática (Alva y

Chaves, 2004). Se basa en el conocimiento previo del área de estudio. En este proceso, el operador selecciona las Regiones de Interés (ROI) en función de su conocimiento y experiencia, definiendo clases específicas para el análisis, posteriormente, el algoritmo asigna los píxeles de la imagen a la clase más adecuada según sus características espectrales, lo que mejora la precisión de la clasificación.

Por otro lado, la clasificación no supervisada no requiere información inicial sobre el área. En este caso, el software examina automáticamente la imagen y agrupa los píxeles según sus similitudes espectrales, sin necesidad de una referencia previa por parte del usuario. Este enfoque es útil cuando no se dispone de datos de campo, ya que permite identificar patrones y estructuras en la imagen de forma exploratoria.

2.1.18. Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados (SAGA) GIS

El SAGA GIS es un sistema de información geográfica (GIS) de código abierto utilizado para la edición y el análisis de datos espaciales. Este software ofrece una amplia variedad de módulos para el análisis de diferentes tipos de datos, como vectores (puntos, líneas y polígonos), tablas, cuadrículas e imágenes, entre otros. Además, el paquete incluye herramientas para geoestadística, clasificación de imágenes, proyecciones, simulaciones de procesos dinámicos (como hidrología y desarrollo del paisaje) y análisis del terreno. Su funcionalidad puede ser accedida a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI), mediante la línea de comandos o utilizando la interfaz de programación de aplicaciones (API) (Conrad et al., 2015).

2.1.19. Software ArcGIS

ArcGIS es un “software” de Sistema de Información Geográfica elaborado por la corporación californiana Environmental Systems Research Institute (ESRI) con el fin de que lo diversos multiusuarios que puedan trabajar. Además, la actualización continua de estos programas, integra logros y avances tecnológicos en la última década y esto nos permite explorar, editar, crear y analizar los datos geográficos (Orduña, 2017; Puerta et al., 2011).

2.1.20. Dron

Es una aeronave pilotada a distancia por un “piloto remoto” quien monitorea y tiene responsabilidad directa durante todo el vuelo, son esenciales para mejorar la precisión predictiva y proporcionar un modelo de evaluación de la salud del suelo con una precisión de 88.4 %. Es importante señalar que esta tecnología debe ser utilizada de manera responsable para asegurar un desarrollo agrícola sostenible (Revathi et al., 2022).

2.1.21. Verificación de los mapas

Según Chuvieco et al. (2019), la interpretación digital de las imágenes satelitales culmina con una fase de verificación de calidad, cuyo objetivo es validar tanto el método utilizado como el producto final obtenido. Este paso debe considerarse el último en procesos como la clasificación digital, la interpretación visual de imágenes y la detección de cambios. La verificación implica el uso de técnicas de muestreo que permiten estimar de manera precisa y eficiente el margen de error presente en los resultados obtenidos. Su propósito es evaluar y cuantificar dicho error mediante la selección de muestras, estableciendo una relación entre la realidad y los resultados obtenidos a partir de un análisis.

2.1.22. Validaciones de resultados

Estos métodos permiten que el usuario evalúe el nivel de concordancia entre el mapa y la realidad. Una de las medidas de confiabilidad es el uso de áreas de prueba, las cuales ofrecen una evaluación independiente sobre el grado de acuerdo entre el mapa y la realidad en el terreno. Esto implica tomar muestras del terreno clasificado para obtener las mediciones necesarias que verifiquen los resultados (MINAM, 2014).

- **Exactitud**

Es el grado de correspondencia entre el valor verdadero y el valor obtenido a partir de observaciones o estimaciones realizadas sobre ella (MIMAM, 2014).

- **Exactitud temática**

Es el nivel de correspondencia entre los atributos asignados a los elementos de una base de datos y las características reales que estos tienen en el mundo real. Asimismo, evalúa la correcta clasificación de los objetivos y sus relaciones conforme a las especificaciones establecidas para el producto cartográfico (MINAM, 2014).

- **Exactitud del productor**

Corresponde al porcentaje de elementos que han sido clasificados correctamente dentro de cada categoría. Este indicador permite evaluar que tan bien se ha identificado una clase específica durante el proceso de clasificación (MINAM, 2014).

- **Exactitud del usuario**

Expresa la proporción de elementos correctamente asignados a una determinada clase en relación con el total de elementos clasificados dentro de esa misma categoría (MINAM, 2014).

- **Nivel de confianza**

Se refiere al intervalo dentro del cual se espera que se encuentra el valor real de un parámetro desconocido, asociado a una probabilidad específica. Generalmente, se emplea

un nivel de confianza del 95%, lo que indica una probabilidad del 95 % de que dicho intervalo contenga el valor verdadero del parámetro evaluado (MINAM, 2014).

- **Precisión**

Es el grado de consistencia o concordancia entre mediciones repetidas de una misma característica. Se evidencio mediante la cercanía entre los resultados obtenidos en diferentes puntos de muestreo o parcelas. La precisión guarda una relación inversa con el error, de modo que a mayor precisión corresponde un menor error (MINAM, 2014).

- **Índice Kappa**

Es un estadístico que mide el nivel de acuerdo entre una clasificación obtenida y una clasificación de referencia, permite evaluar la calidad de un producto cartográfico comparado la exactitud alcanzada mediante procedimiento automatizado con la obtenida a través de una interpretación visual o verificada de campo (MINAM, 2014).

2.2. Estado del arte

Cachay (2023) en la tesis “Cambios de las coberturas y usos del suelo en la microcuenca del río Jucusbamba, Amazonas (Perú), 1992–2052”, analizó la dinámica espaciotemporal de coberturas y usos del suelo combinando Landsat (1992–2007) y Sentinel-2 (2022), clasificadas con Random Forest en Google Earth Engine, usando cinco clases (ZU, PC, BO, PH y AH), y además proyectó escenarios futuros con MOLUSCE mediante CA-ANN (red neuronal artificial). Para 1992–2022 reportó que los bosques (BO) disminuyeron de 7 561.32 ha (39,45%) a 5 856,77 ha (30,56%), con pérdidas de -605,15 ha (1992–2007) y -1 099,4 ha (2007–2022), mientras que el mosaico de pastos y cultivos (PC) aumentó de 2 270,83 ha (11,85%) a 6 939,96 ha (36,21%); en paralelo, la vegetación arbustiva/herbácea (AH) bajó de 9 152,65 ha (47,75%) a 6 038,01 ha (31,50%), evidenciando que la conversión dominante fue de coberturas naturales hacia usos agropecuarios. La exactitud del mapa 2022 alcanzó 89.8% con Kappa = 0,86, y la tasa de pérdida de bosque fue mayor en 2007–2022 (1,14%) que en 1992–2007 (0,55%), identificándose en las matrices de tabulación cruzada que BO y AH se transforman principalmente en PC

Chávez (2023) realizó un estudio sobre el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en el distrito cafetalero de Ocumal (Luya, Amazonas), usando imágenes Landsat 2000, 2010 y 2020 procesadas en Google Earth Engine mediante Random Forest, y complementando el análisis con matrices de tabulación cruzada y tasas de cambio calculadas en IDRISI Selva. El objetivo fue caracterizar la dinámica multitemporal de las coberturas y proyectar escenarios

futuros (2030 y 2040) mediante el plugin MOLUSCE en QGIS. Los resultados mostraron que los cultivos de café aumentaron 12,60% (2000–2010) y 7,40% (2010–2020), mientras que la cobertura de bosque disminuyó –2,10% en el segundo periodo, asociándose principalmente a la expansión agrícola. Además, la proyección 2020–2030 sugiere que Pastos y Cultivos podría reducirse en –11,87%, mientras que otras coberturas tenderían a incrementarse, evidenciando una dinámica territorial marcada por la actividad cafetalera

Vizcarra (2025) analiza la relación entre economías ilegales y urbanización en la Amazonía peruana, tomando como caso la ciudad de Pichari. Señala que la literatura tradicional ha explicado la urbanización amazónica principalmente desde la migración rural o la expansión agrícola, dejando un vacío respecto al papel del cultivo de hoja de coca en la configuración urbana. Estudios previos indican que estas economías ilícitas pueden actuar como motores económicos que articulan espacios rurales con circuitos globales y favorecen la expansión de infraestructura y burocracia local, incluso en contextos de limitada presencia estatal. Asimismo, se retoma la noción de “economía moral de la ilegalidad” en el VRAEM, donde la producción de coca se integra a la vida social y económica como medio de subsistencia, contribuyendo a la formación de una “ciudad cocalera” que desafía los modelos convencionales de urbanización rural-urbana.

MINAM (2024) reporta que la provincia de La Convención registró una pérdida acumulada de 90 592 hectáreas de bosque amazónico entre 2001 y 2024, identificándose los mayores picos de deforestación en 2017 (9 673 ha), 2018 (7 724 ha) y 2020 (7 218 ha). A nivel distrital, Pichari presenta una dinámica diferenciada, con una pérdida acumulada menor de 5 303 hectáreas en el mismo periodo; no obstante, en los últimos cinco años (2020–2024) se evidencian los valores más elevados, destacando 2020 con 509 hectáreas y 2021 con 246 hectáreas. En conjunto, durante este último quinquenio la pérdida de bosque en el distrito asciende a 1 039 hectáreas, lo que confirma una tendencia reciente de presión sobre la cobertura forestal.

Flores (2023) evaluó el potencial de las imágenes de PlanetScope para diferenciar tipos de vegetación en el ecosistema cenagoso tropical de la Ciénaga Guatinaja. Se realizaron dos muestreos de campo correspondientes a periodos de aguas medias y aguas bajas para obtener información primaria sobre las coberturas vegetales. Además, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para identificar índices de vegetación aplicables a las imágenes de PlanetScope, obteniéndose inicialmente 50 índices, los cuales fueron evaluados mediante un análisis de separabilidad utilizando la distancia euclidiana, reduciéndose finalmente a 20 índices para la aplicación de la metodología SIA_WM. Los índices SAVI (L 0.5) y EVI fueron

los mejor calificados, y a partir de ellos se elaboró la cartografía de la Ciénaga Guatinaja para las dos temporadas estacionales, seca y húmeda. El uso de la aplicación SIA_WM permitió separar coberturas de agua, vegetación y superficie terrestre; sin embargo, no fue posible diferenciar coberturas de buchón, guandú y hierba de arroz. Los resultados sugieren que los productos PlanetScope no son adecuados para la discriminación de coberturas vegetales en ecosistemas de humedal, debido a la limitada resolución del sensor y la falta de datos de campo. Por ello, se recomienda el uso de drones para incrementar la cantidad de puntos de muestreo durante el entrenamiento y validación de la clasificación, mejorando así la precisión en la diferenciación de coberturas vegetales en este tipo de ecosistemas.

Lora (2025) realizó un estudio sobre la fragmentación y dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo en la zona selva de la provincia Maraón durante el periodo 2003–2023, empleando imágenes satelitales multitemporales y análisis mediante matrices de transición y tasas de cambio anual. El objetivo fue evaluar las pérdidas, ganancias y permanencias de las diferentes coberturas, así como identificar la dirección predominante del cambio. Los resultados evidenciaron que la clase Bosque registró la mayor pérdida, con 14 810,47 ha transformadas, y una tasa promedio de $-613,83$ ha/año, mientras que las Áreas Agrícolas Heterogéneas presentaron el mayor crecimiento, con 514,43 ha/año, seguidas por Pastos (67,89 ha/año) y Vegetación Secundaria (51,57 ha/año). La matriz de transición mostró que la expansión agropecuaria se consolidó como la principal dirección del cambio, con importantes conversiones desde Bosque hacia Pastos y Áreas Agrícolas Heterogéneas. Estos resultados confirman una tendencia sostenida de conversión forestal vinculada al avance de la frontera agrícola

Nghia et al., (2021) analizó la clasificación de la cobertura terrestre en la cuenca del río Bon, Vietnam, utilizando una plataforma de computación en la nube se emplearon siete clases para el análisis: bosque artificial, bosque natural, arrozal, área urbana, área rural, tierra desnuda y cuerpos de agua. Para este análisis, se utilizaron imágenes de Landsat 8 con un 10% de nubosidad, procesadas en la plataforma Google Earth Engine (GEE) utilizando el algoritmo Random Forest (RF). Los resultados mostraron que las clases con mayor extensión fue el bosque natural, con 5 989,667 km² (59,49% del área), mientras que el área urbana fue la clase con menos cobertura, alcanzando solo 41,0052 km² (0,41% del área). Los cuerpos de agua ocupamos 119,147 km². A pesar de que los resultados fueron confiables, los autores concluyendo que la clasificación aun presenta deficiencias en algunas clases, por lo que sugirieron que la validación de los resultados debería realizarse utilizando imágenes satelitales de alta resolución para mejorar la precisión.

En un artículo, Puerta (2023) analizó la dinámica de cambio de bosque a no bosque en el Parque Nacional Tingo María (PNTM) y su Zona de Amortiguamiento (ZA), usando imágenes Sentinel-2 clasificadas con el algoritmo Random Forest y evaluando las transiciones mediante matrices de transición y tasas de cambio. Los resultados muestran que la presión fue más intensa en la ZA: en 2017–2019 se registró una tasa de $-2,97\%$ con pérdida de 188,78 ha (principalmente hacia vegetación secundaria: 123,75 ha y tierras desnudas: 65,03 ha), y en 2019–2021 la tasa aumentó a $-4,39\%$ con pérdida de 369,23 ha (hacia vegetación secundaria: 282,48 ha y cultivos y pastos: 72,53 ha). En el PNTM las pérdidas fueron menores, con $-0,26\%$ y 25,88 ha (2017–2019), y luego $-1,24\%$ con 152,74 ha (2019–2021), manteniéndose como transición dominante el paso de bosque a coberturas secundarias; en conjunto, esto evidencia que las zonas de amortiguamiento concentran la mayor conversión del bosque por cambio de uso del suelo.

Ríos (2023) realizó un estudio sobre la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo en el periodo 2000–2020, empleando imágenes satelitales multitemporales y análisis mediante matrices de transición y tasas de cambio. El objetivo fue evaluar la pérdida y ganancia de coberturas, así como identificar la dirección predominante de los cambios en el territorio. Los resultados evidenciaron que la clase Bosque presentó una tasa negativa de $-0,20\%$ anual, equivalente a una pérdida aproximada de 1 756,57 ha/año, mientras que las Áreas agrícolas Heterogéneas registraron el mayor incremento con $+0,93\%$ anual ($\approx$ 1 854,61 ha/año). Asimismo, la matriz de transición mostró que la mayor conversión se produjo desde Bosque hacia Áreas agrícolas Heterogéneas, con 35 011,50 ha transformadas, acumulando una pérdida total de 35 131,37 ha de bosque. Estos hallazgos confirman el avance sostenido de la frontera agrícola como principal motor del cambio de uso del suelo.

Santiago (2023) en su tesis titulada “Análisis multitemporal (1990–2020) para la evaluación de la variación de la cobertura y uso del suelo de Kimbiri, Cusco – 2021”, tuvo como objetivo evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo durante 30 años en el distrito de Kimbiri. Para ello empleó imágenes Landsat 5 (1990) y Landsat 8 (2020), aplicando correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas, y realizó una clasificación supervisada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud en ArcGIS; la validación se efectuó con matriz de confusión e índice Kappa, obteniendo valores de 0,71 (1990) y 0,81 (2020), indicando una concordancia buena a muy buena. El análisis multitemporal evidenció que el bosque denso presentó una tasa anual de cambio de $-0,30\%$ y el bosque fragmentado de $-1,81\%$, mientras que aumentaron las clases mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales ($3,12\%$) y mosaico de

pastos y cultivos (4,39%), confirmando una tendencia de conversión de áreas forestales hacia usos agropecuarios.

Ticona (2022) evaluó la pérdida de cobertura vegetal incluyendo matorrales y especies forestales ocasionada por incendios forestales entre 2015 y 2021 en la subcuenca Huatanay, en Cusco. El estudio determinó que la superficie afectada alcanzó las 8435.92 hectáreas, cifra considerada alarmante debido a la significativa reducción de la cobertura vegetal registrada en los últimos años. No obstante, se evidenció que en sectores cercanos a zonas con intervención antrópica el impacto fue menor, representando únicamente el 2,79 % del total de áreas afectadas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Pichari, con una extensión total de 81 284,89 hectáreas. Se ubica en la región de selva alta, caracterizada por una densa cobertura boscosa y una elevada biodiversidad.

3.1.1. Ubicación geográfica

El distrito se localiza geográficamente:

Tabla 2. Coordenada UTM (Datum WGS 84) de la zona de investigación.

Zona	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
18 L	6277277	8615698	597

3.1.2. Ubicación política

Departamento : Cusco

Provincia : La Convención

Distrito : Pichari

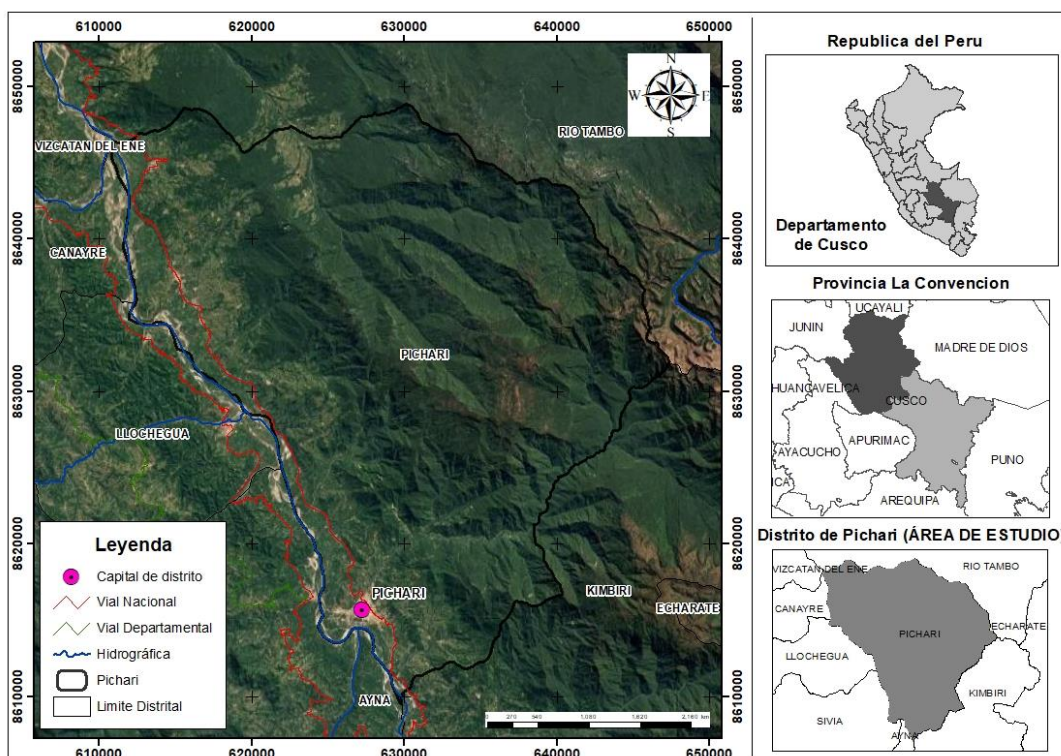


Figura 2. Ubicación del área en estudio

3.1.3. Clima

Según el mapa del Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú SENAMHI (2020). Los promedios regionales señalan temperaturas máximas entre 17° C y 23°

C y mínimo entre 7° C y 11° C. En Pichari se encuentra a 475 m s.n.m., lo que respalda el carácter cálido-húmedo del valle del Apurímac.

3.1.4. Zonas de vida

De acuerdo con el estudio de Zonificación Ecológica y Económica del distrito de Pichari, el área de estudio presenta cinco zonas de vida: bosque húmedo tropical (bh-T), bosque húmedo premontano tropical (bh-PT), bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), bosque húmedo montano tropical (bh-MT) y páramo húmedo subandino tropical (ph-ST). Estas zonas representan diferentes condiciones ecológicas y climáticas distribuidas a lo largo del territorio distrital (Municipalidad Distrital de Pichari [MDP], 2025).

3.1.5. Suelo

Constituye las principales actividades económicas en el distrito de Pichari, los cultivos más representativos son el cacao, el café y la coca, seguido por productos de consumo local como la yuca, el maíz, el plátano y la piña, además de la presencia menor de arroz, cítricos y pastos. Reflejando una estrategia tradicional de diversificación agrícola en la zona (Municipalidad Distrital de Pichari [MDP], 2021).

3.1.6. Fisiografía

Presenta una fisiografía variada, caracterizada por la presencia de montañas bajas y altas, colinas, laderas inclinadas y áreas de relieve ondulado a escarpado. Estas unidades fisiográficas se distribuyen a lo largo de un amplio gradiente altitudinal que va desde aproximadamente 475 m s.n.m. hasta más de 4 000 m s.n.m. Asimismo, la configuración del relieve influye en la distribución de las actividades humanas, concentrándose los principales asentamientos en las zonas de menor pendiente y accesibilidad (MDP, 2025).

3.1.7. Accesibilidad

El área de estudio presentó un acceso limitado, siendo la carretera Ayacucho-San Francisco-Pichari la principal vía de tránsito, complementada por la carretera Cusco-Kepashiato-Kimbiri-Pichari. Asimismo, los ríos Apurímac y Ene constituyeron importantes vías fluviales que facilitaron el transporte y la comunicación en la zona, la accesibilidad dentro del distrito fue más factible en el área cercana a los centros poblados, donde se concentra las principales actividades socioeconómicas.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Los materiales que se utilizaron en campo y en el procesamiento de datos son: Libreta de campo, GPS Garmin Map 62S, laptop ASUS, dron DJI Mavic 3 Classic, cámara

fotográfica y ficha de datos (Anexo A, B Y C). Los programas que se utilizaron son: ArcGIS, BaseCam, SAGA GIS, GEOMIDAGRI, Microsoft Word y Microsoft Excel.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Clasificación y cuantificación de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito Pichari

a. Información cartográfica – recopilación

Para el desarrollo de la investigación, se recopiló información cartográfica base proveniente de geoportales de instituciones del estado peruano, tales como el SERNANP, SERFOR, IGN, MINAM, ANA, MTC E INE. Esta información incluyó elementos esenciales como vías de comunicación, cuerpos de agua (ríos y quebradas), límites políticos y administrativos, centros poblados y otras coberturas geográficas. Los datos obtenidos sirvieron como insumo fundamental para la elaboración de mapas temáticos y la integración de capas espaciales, que permitieron el desarrollar el análisis territorial y ambiental correspondiente a la investigación.

b. Imágenes satelitales – Descarga

Las imágenes satelitales se descargaron de forma gratuita de la plataforma MIDAGRI – PLANET (<https://minagri-geoespacial.users.earthengine.app/view/mosaicosv3>), correspondiente a los años 2020 y 2025. Para este proceso, se especificó las fechas de adquisición priorizando los meses de verano, con el propósito de reducir la presencia de nubosidad y obtener una mejor calidad de las imágenes.

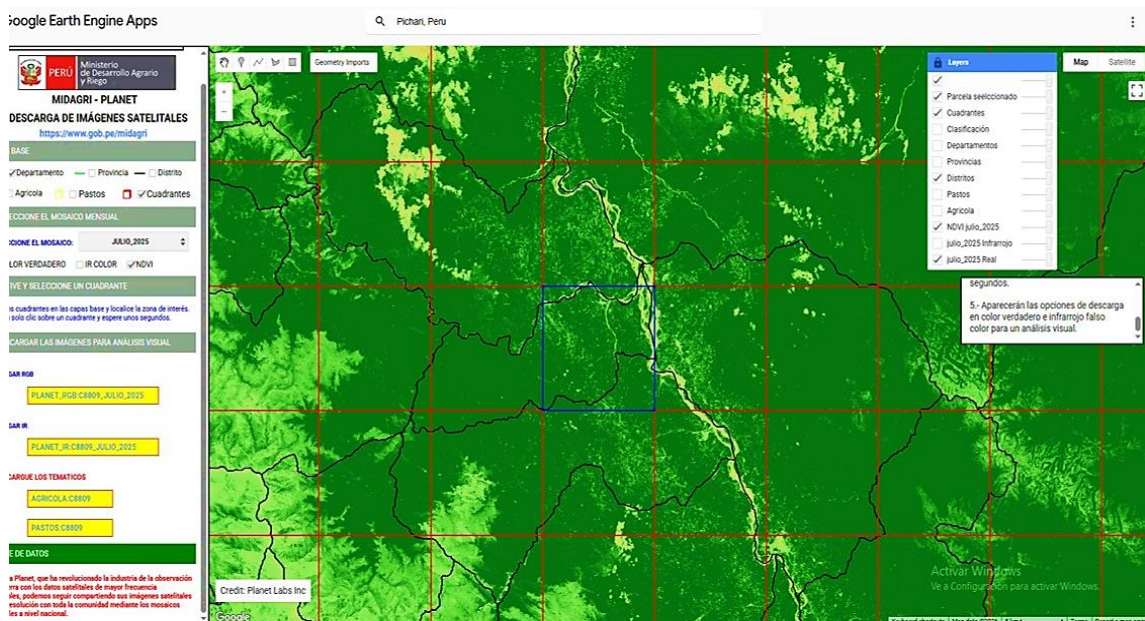


Figura 3. Plataforma MIDAGRI – PLANET.

Finalmente, la descarga se realizó mediante los siguientes pasos:

1. Se seleccionó la fecha del mosaico nacional disponible en la plataforma.
2. Se ubicó la zona de interés correspondiente al distrito de estudio.
3. Se activaron los cuadrantes para visualizar las áreas disponibles.
4. Se hizo clic en el cuadrante seleccionado, esperando unos segundos para cargar las opciones.
5. Finalmente, se descargaron los mosaicos con color verdadero y en infrarrojo falso color, los cuales fueron utilizado posteriormente para el análisis visual y la clasificación de cobertura.

c. Procesamiento de imágenes satelitales

En esta etapa, las imágenes satelitales correspondientes al área de estudio se proyectaron al sistema de coordenadas UTM, zona 18 Sur, con Datum WGS 1984, a fin de mantener una referencia espacial uniforme. Una vez descargada las imágenes de los años 2020 y 2025, se procedió a generar un mosaico en ArcGIS (con la herramienta: Mosaic To New Raster) que abarcó completamente el ámbito de investigación y a delimitar el área de interés.

Posteriormente, se realizaron procesos de manipulación digital, tales como la combinación de bandas espectrales y ajustes radiométricos, con el propósito de mejorar la visualización y optimizar la calidad de las imágenes para su posterior análisis e interpretación temática.

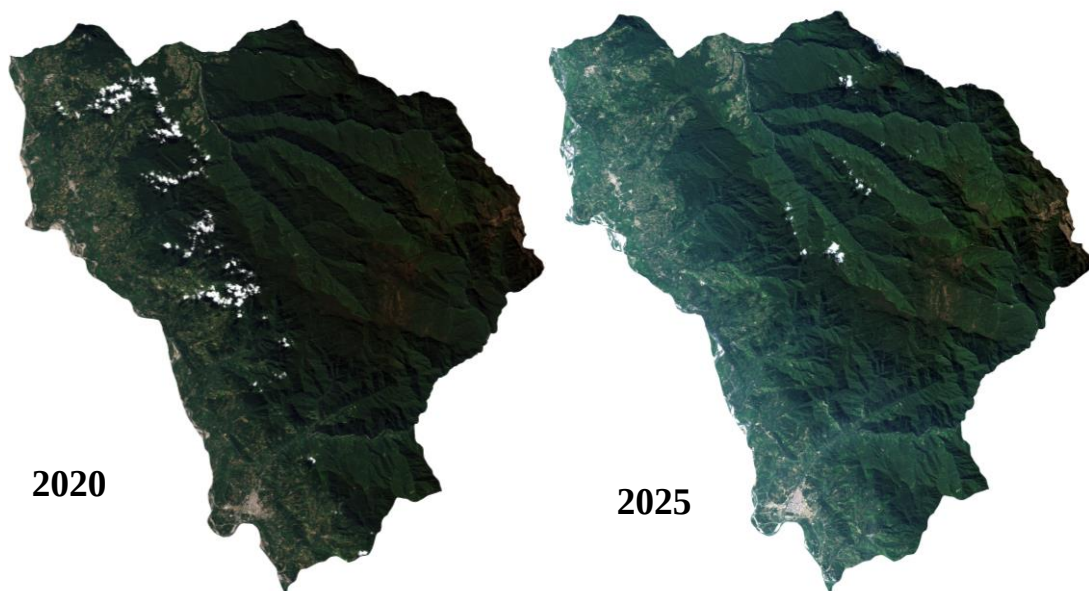


Figura 4. Imágenes Satelitales del distrito de Pichari.

Finalmente, estas imágenes no requieren corrección atmosférica, dado que la plataforma proporciona productos previamente procesadas y ortorrectificada, con

alta precisión radiometría y geométrica, lo que permite su uso directo en el análisis multitemporal.

Tabla 3. Propiedades de las imágenes satelitales empleadas en el proceso de clasificación.

Orden	Sensores	Fecha	Formato	Fuente
1	PLANET	julio del 2020	Geo Tiff	Midagri - Planet
2	PLANET	julio del 2025	Geo Tiff	Midagri - Planet

d. Proceso de clasificación de las imágenes satelitales

Para la clasificación de las imágenes satelitales, se empleó el algoritmo de inteligencia artificial Random Forest, implementando en el software SAGA GIS. Este método permitió realizar una clasificación supervisada de la cobertura vegetal con alta precisión, para ello se definieron áreas de entrenamiento de cada tipo de cobertura (Conrad et al., 2015). Las imágenes fueron previamente importadas y combinadas en bandas espectrales, lo que facilitó la diferencia de las clases.

Cada grupo identificado fue asignado a una clase de cobertura vegetal específica, siguiendo la metodología del protocolo de evaluación de la “exactitud temática del mapa de deforestación”. Tomando como base la clasificación del Corine Land Cover adaptado para el Perú (MINAM, 2014).

Tabla 4. Clases de cobertura y uso del suelo para el distrito de Pichari.

Corine Land Cover			
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Clase
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Zonas Urbanas (ZU)
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
2. Áreas agrícolas	2.3. Pasto	2.3.1. Pasto limpio	Pasto (P)
		2.3.2. Pastos arbolados	
		2.3.3. Pasto enmalezado	
	2.4. Áreas agrícolas Heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	Áreas Agrícolas Heterogéneas (AAH)
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	Bosque (B)
		3.1.2. Bosque abierto bajo	
		3.1.3. Bosque denso alto	
		3.1.4. Bosque abierto alto	
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales Permanentes	Cuerpos de agua (CA)

e. Correcciones Topológicas

Las capas pasaron por correcciones topológicas, para evitar errores vectoriales. Por lo que al evaluar y detectar errores originales durante la digitalización o en la clasificación, especialmente en los procesos de conversiones de ráster a vector. Para los polígonos, se tuvieron en cuenta lo siguiente: superposición entre áreas y la inexistencia de vacíos (huecos) dentro de una misma capa, lo que permite mejorar la consistencia geométrica y la calidad cartográfica de los productos finales empleados en el análisis espacial (SERNANP, 2022).

Finalmente, se elaboraron los mapas de cobertura vegetal correspondientes a los años 2020 y 2025, en una escala de trabajo de 1:10 000, con una unidad mínima de mapeo de 0,5 ha proyectados en el Datum WGS 1984, zona 18 sur.

f. Verificación de campo

Se realizó mediante trabajo de campo, considerando la accesibilidad del área a partir de las vías existentes. Las coberturas previamente identificadas en gabinete fueron contrastadas en terreno mediante sitios de validación georreferenciados obtenidos con GPS, lo que permitió verificar, corregir y ajustar las clases de cobertura.

Asimismo, esta información recopilada permitió evaluar el desempeño de la clasificación, identificando las clases que presentaron mayor capacidad de discriminación y correspondencia con las condiciones reales observadas en campo.

3.2.2.2. Cálculo de la exactitud temática de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari

a. Matriz de Confusión

Como etapa posterior, se empleó la matriz de confusión para evaluar el desempeño y la exactitud temática de la clasificación de las imágenes satelitales, comparando las clases asignadas con las clases de referencia verificadas en campo, lo que permitió identificar coincidencias del proceso de clasificación. En la matriz de confusión, las columnas representan las clases de referencia y las filas las categorías obtenidas de la clasificación. Asimismo, se utilizó un dron DJI Mavic 3 Classic, para capturar imágenes aéreas de las diferentes coberturas y uso del suelo, tomando como referencia los sitios de validación georreferenciadas en campo. Estas observaciones permitieron verificar áreas representativas de cada categoría de cobertura y reconocer con mayor precisión sus características actuales.

Los valores ubicados en la diagonal principal indicaron las observaciones correctamente clasificadas, mientras que los valores fuera de esta

correspondieron a errores de clasificación. La precisión global se calculó a partir de la proporción de sitios de validación georreferenciados correctamente clasificados respecto a total evaluado, permitiendo cuantificar la confiabilidad de los mapas de cobertura vegetal de los años 2020 y 2025, así como identificar omisiones y comisiones en la clasificación (Chuvieco et al., 2009).

Tabla 5. Matriz de confusión.

Resultados de clasificación	Bosque	No bosque	Deforestación	Total	Exactitud del usuario	Error de comisión
Bosque	A1	A2	A3	$X = A1+A2+A3$	EU1	EC1
No bosque	B1	B2	B3	$Y = B1+B2+B3$	EU2	EC2
Deforestación	C1	C2	C3	$Z = C1+C2+C3$	EU3	EC3
Total	$R = A1+B1+C1$	$S = A2+B2+C2$	$T = A3+B3+C3$	M		
Exactitud del productor	EP1	EP2	EP3			
Error de omisión	EO1	EO2	EO3			

Fuente: MINAM, 2014

Se obtuvieron los principales indicadores de evaluación. Las clases correctamente estimadas representan la confiabilidad del mapa y corresponden a la suma de los aciertos ubicados en la diagonal principal de la matriz (A1, A2, A3).

El total de clases evaluadas equivale al número total de sitios de validación georreferenciados que se obtuvieron por el valor M. Asimismo, los totales de referencia y clasificación se obtuvieron mediante la suma de los valores de cada clase, expresados como R, S y T para las clases de referencia, y X, Y y Z para las clases resultantes de la clasificación (MINAM, 2014).

b. Índice de Kappa como medida de precisión del mapa

Mide el grado de concordancia, considerando únicamente las coincidencias reales y excluyendo aquellas que pueden atribuirse al azar.

Se calculó a partir de la proporción de aciertos observados (Po), definido como el número de coincidencias correctas al total de clases evaluados (MINAM, 2014), como:

$$Po = (A1 + B2 + C3) / M$$

Asimismo, el valor esperado por azar (Pe) se obtiene a partir de la matriz de confusión, mediante la siguiente expresión:

$$Pe = (EP1 \times EU1) + (EP2 \times EU2) + (EP3 \times EU3)$$

Se interpretó el coeficiente K, con la Tabla 5:

Tabla 6. Escala de interpretación de coeficiente Kappa.

Coeficiente de Kappa (κ)	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

Fuente: MINAM, 2014

3.2.2.3. Estimación de los cambios de la cobertura vegetal del periodo 2020 al 2025 en el distrito Pichari

a. Matriz de transición

Se analizó la dinámica de cambio de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari mediante la matriz de transición con pérdidas y ganancias, siguiendo la metodología propuesta por Pontius et al. (2004) y Falcon (2014). Esto permitió cuantificar los cambios distinguiendo las áreas que permanecieron sin variación de aquellas que experimentaron cambios de categorías.

Las matrices de transición se generaron mediante la superposición de los mapas de cobertura y uso del suelo de ambos años, organizando la información en una estructura matricial. En dicha matriz, las filas representaron las categorías del año inicial (t1) y las columnas las del año final (t2), donde la diagonal principal indico las áreas sin coberturas y las demás celdas reflejaron las transiciones entre cobertura.

Tabla 7. Ganancias y pérdidas de la matriz de transición.

Ganancias y pérdidas en la matriz de transición.							
Tiempo 1	Tiempo 2						
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total: tiempo 1	Pérdidas	
	Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
	Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
	Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{+}	$P_{4+} - P_{44}$
	Total:	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
	Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente: Pontius et al. (2004) y Falcon (2014)

Sobre los índices de cambio en las clases, presentándose en los siguientes indicadores:

- Ganancia (G_{ij}): Proporción de las clases que aumentó entre dos fechas, calculada restando la persistencia (P_{jj}) del total en el tiempo 2.

- Pérdida (L_{ij}): Representa la disminución del paisaje entre dos fechas, obtenida al restar la persistencia (P_{ij}) del total en el tiempo 1.
- Intercambio (S_j): Indica cambios en la ubicación de las categorías sin alterar su superficie total, calculando como el doble del valor mínimo en los periodos estudiados, ubicada en la diagonal principal de la matriz.
- Cambio total (DT_j): Suma de todas las proporciones del paisaje que experimentaron cambios en los periodos analizados.

Se utilizó un dron para capturar imágenes actuales del distrito de Pichari, de los cuales se tomó en cuenta las clasificaciones de cobertura vegetal y cambio de uso del suelo.

b. Estimación de la tasa de cambio de cobertura

Mediante el uso del algebra de mapas se estimaron las pérdidas o variaciones de la cobertura vegetal, calculando la superficie correspondiente a cada clase de cobertura para los distintos años de análisis. Para calcular la tasa anual de cambio se aplicó la formula propuesta por la FAO (1996), expresada de la siguiente manera

$$TC = \left\{ \left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1 \right\} \times 100 \quad (1)$$

Donde, TC corresponde a la tasa de cambio expresada en porcentaje (%), S_1 representa la superficie registrada en la fecha inicial; S_2 corresponde a la superficie en la fecha final; y n es la diferencia en años entre fechas de análisis.

3.2.3. Componentes metodológicos

- **Enfoque de investigación:** Es cuantitativa, ya que se centra en la cuantificación y análisis de la cobertura vegetal del distrito de Pichari, quienes caracterizan el enfoque cuantitativo como aquel que se basa en la recolección de datos con el propósito de contrastar hipótesis a través de mediciones numéricas. Esta elección está en línea con la definición de (Hernández et al., 2014).
- **Tipo de investigación:** Es de tipo aplicado, debido a que los resultados obtenidos se utilizaron para apoyar la toma de decisiones orientada a la solución del problema relacionado con la pérdida de cobertura vegetal en el área de estudio (Supo, 2012).
- **Nivel de investigación:** Es descriptiva, ya que se evaluó y determinó la situación de la cobertura vegetal en el distrito de Pichari sin manipular variable alguna. Este nivel permitió describir los fenómenos, situaciones y manifestación (Hernández et al., 2014).

- **Diseño de investigación:** No experimental y transversal, debido a que no se manipuló la variable la validación de la clasificación se realizó en un momento durante el año 2025. Se analizaron imágenes satelitales de los años 2020 y 2025 para evaluar los cambios en la cobertura vegetal sin intervenir en las condiciones naturales del fenómeno (Hernández et al., 2014).

3.2.3.1. Variable de estudio

Variable

Cobertura vegetal

Indicadores

Superficie en hectáreas (ha)

Superficie en porcentaje (%)

Los indicadores son las clases de cobertura vegetal en el distrito de Pichari, cambio de coberturas (hectáreas/año). También se usó la índice kappa y la exactitud global en (%) para evaluar la exactitud temática de los mapas a elaborar.

3.2.3.2. Población, muestra y muestreo

1. Población

La población estuvo constituida por la totalidad de la cobertura vegetal presente en el distrito de Pichari, comprendiendo una superficie de 81 284,89 ha, correspondiente al 100% del área de estudio.

2. Tamaño de la muestra

Para determinar el número de sitios de validación georreferenciados se utilizó la fórmula de Cochran (1977), adoptada por el MINAN (2014).

$$n = \frac{Z^2 * P * Q}{e^2} \quad (2)$$

Donde:

n: tamaño de muestra

Z: constante asociada al nivel de confianza

P: porcentaje de aciertos estimados según el área de la clase

Q: porcentaje de error estimado

e: error máximo permitido

Debido a que no se cuenta con información detallada previa de la clasificación de coberturas, se recurrió a información secundaria disponible para el distrito de

Pichari, la cual señala el predominio de ecosistemas boscosos amazónicos dentro del territorio distrital. Bajo esta consideración se asumió un porcentaje de aciertos esperados para la clase de bosque de 85% ($P = 0.85$), teniendo así un 15% de error estimado ($Q = 0.15$) y un 10% de error máximo permitido ($e = 0.10$). Además, se optó por nivel de confianza de 90% con su constante asociada ($Z = 1.64$) el cual está dentro del rango aceptable de nivel de confianza. Remplazando los valores en la formula:

$$n = \frac{(1.64)^2 \times 0.85 \times 0.15}{(0.10)^2}$$

$$n = 34.29$$

$$n \approx 34$$

Obteniendo así un tamaño de 34 sitios de validación georreferenciados para el área dominante, Aplicando la fórmula a las 4 clasificaciones restantes del porcentaje restante (15%) del área se obtienen tamaños de muestra reducidos, los cuales no garantizan una adecuada representación estadística para la evolución de la exactitud temática. Por tal motivo, se optó por una asignación desproporcionada uniforme, asignando 34 sitios de validación georreferenciadas de cada clase de cobertura, con la finalidad de asegurar una representación equilibrada de todos los estratos y una adecuada construcción de la matriz de confusión. En consecuencia, se distribuyeron 170 sitios de validación georreferenciadas entre las cinco clasificaciones.

3. Tipo de muestreo

Se empleó un muestreo estratificado desproporcionado, considerando como estratos las cinco categorías de cobertura vegetal identificadas en el mapa. Se asignaron 34 sitios de validación georreferenciados de cada categoría, independientemente de la superficie que ocupa dentro del área de estudio considerando criterios de accesibilidad mediante la red vial y vías fluviales para la ubicación de los sitios, con la finalidad de garantizar una representación, equilibrada y una adecuada estimación de la exactitud de cada clase. Este procedimiento permitió garantizar una representación adecuada de todas las categorías de cobertura vegetal y facilitar la evaluación de la exactitud del mapa de cobertura vegetal (Stehman, 2009).

3.2.3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante la técnica de observación no experimental, empleado teledetección espacial para la obtención de información de la cobertura vegetal y observación directa de campo para la validación de resultados. Como instrumentos se utilizaron imágenes satelitales PlanetScope, un receptor GPS Garmin Map 62S, un dron DJI Mavic 3 Classic, fichas de registro de campo y los softwares ArcGIS Y SAGA GIS para el procesamiento y análisis de la información geoespacial.

3.2.3.4. Análisis de interpretación de datos

Los datos fueron procesados mediante Sistema de Información Geográfica (SIG). La clasificación de coberturas vegetales se realizó mediante el algoritmo Random Forest en el Software SAGA GIS. La precisión de los resultados fue evaluada mediante una matriz de confusión, obteniéndose indicadores como la exactitud global y el índice de Kappa. Posteriormente, se efectuó un análisis multitemporal mediante matrices de transición y el cálculo de la tasa de cambio, permitiendo identificar las pérdidas, ganancias y permanencias de las coberturas vegetales. Finalmente, los resultados fueron representados mediante mapas temáticos y tablas estadísticas para interpretar la dinámica de la cobertura vegetal y el proceso de la deforestación en el distrito de Pichari durante el periodo 2020-2025.

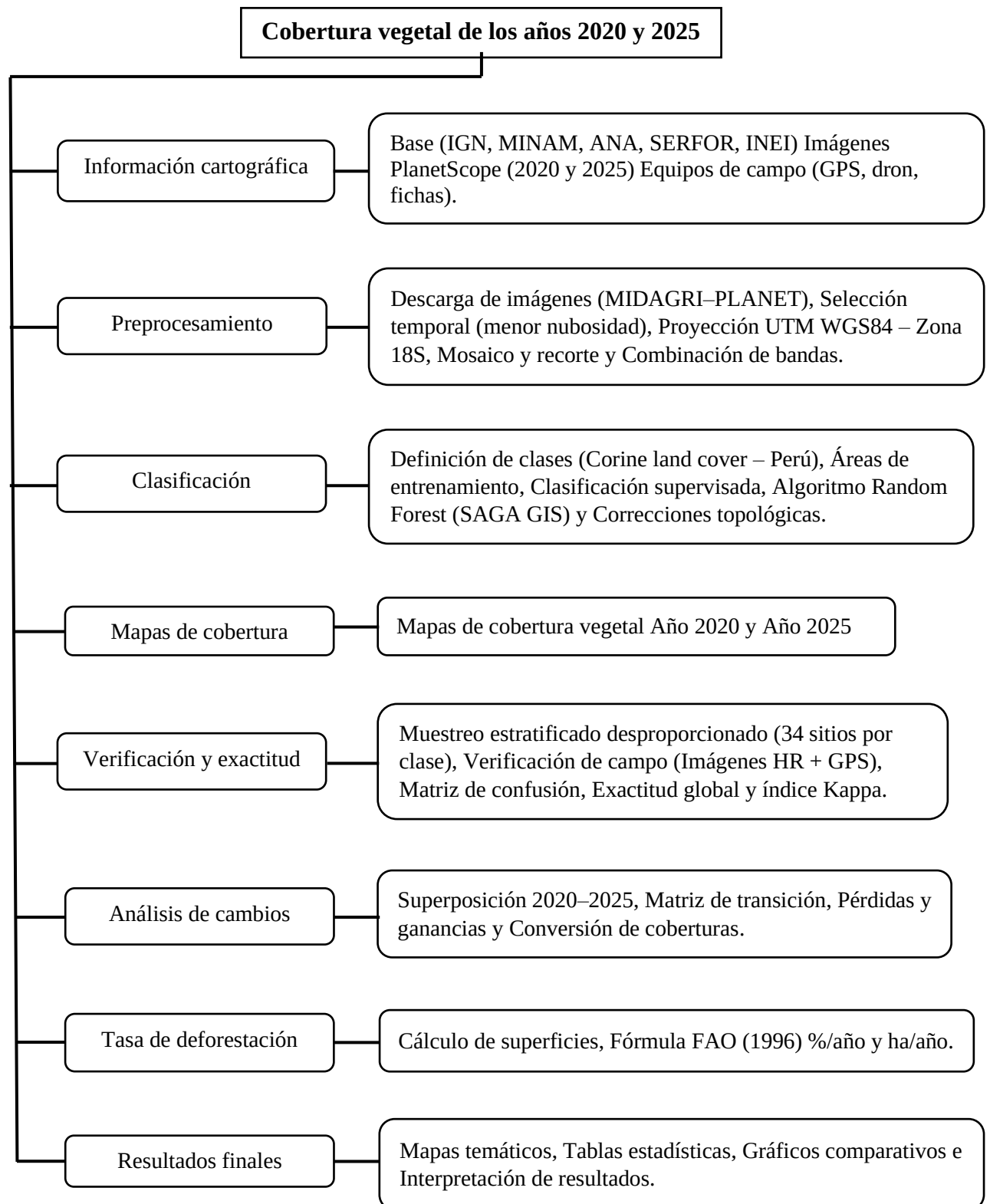


Figura 5. Esquema del procedimiento metodológico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Clasificación y cuantificación de la cobertura vegetal de los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari

Muestra los resultados de la clasificación de imágenes satelitales para los años 2020 y 2025 en el distrito de Pichari, indicando la distribución y variación de las principales clases de cobertura y uso del suelo (**Tabla 7**).

En ambos años, la cobertura de bosque fue la predominante, aunque presento una disminución de 85,79 % (69 730,42 ha) en 2020 a 84,46 % (68 649,27 ha) en 2025. En contraste, las áreas agrícolas Heterogéneas y la vegetación secundaria mostraron un incremento, pasando de 9,86 % (8 017,33 ha) a 10,88% (8 843,75 ha) y de 1,89 % (1 536,01 ha) a 2,15 % (1 750,62 ha) respectivamente. Las zonas urbanas también registraron un ligero aumentó, mientras que los cuerpos de agua mostrando una leve reducción.

Tabla 8. Clasificación y cuantificación de la cobertura vegetal y uso del suelo.

N°	Cobertura y uso del suelo	COD	2020		2025	
			ha	%	ha	%
1	Zonas Urbanas	ZU	1 074,15	1,32	1 122,65	1,38
2	Vegetación secundaria	VS	1 536,01	1,89	1 750,62	2,15
3	Áreas Agrícolas Heterogéneas	AAH	8 017,33	9,86	8 843,75	10,88
4	Bosque	B	69 730,42	85,79	68 649,27	84,46
5	Cuerpos de agua	CA	926,98	1,14	918,60	1,13
Total			81 284,89	100,00	81 284,89	100,00

Los resultados muestran que, aunque el bosque siendo la cobertura con mayor abarque en el distrito de Pichari, se observa una reducción progresiva asociada al incremento de la cobertura de carácter antrópico. Estos resultados tienen coherencias con las estadísticas históricas reportadas por el MINAM (2024), que señala que el distrito de Pichari muestra una dinámica particular, alcanzando 5 303 hectáreas, en el cual se muestra la pérdida de los últimos 5 años (2020- 2024) donde se resalta los picos más altos es en el 2020 con 509 hectáreas y 2021 con 246 hectáreas, en todo el lapso del tiempo mencionado la pérdida de bosque es de 1 039 hectárea. La dinámica observada en el periodo 2020 y 2025 confirma que el proceso de transformaciones del paisaje continua activo, aunque con menor intensidad que en los años críticos previamente mencionados.

A escala provincial, la Convención ha experimentado una pérdida total de 93 452 ha de bosque en las últimas dos décadas (MINAM, 2024), lo que demuestra que la dinámica distrital responde a un patrón territorial más amplio. Esta situación ha sido vinculada principalmente a la expansión agrícola, la explotación maderera y el crecimiento urbano no

planificado, factores que han contribuido de manera directa a la conversión del bosque en otros usos del suelo y a la emisión significativa de carbono a la atmosfera intensificado el cambio climático (Pérez, 2024)

En el contexto específico de Pichari, la expansión agrícola adquiere una dimensión particular debido a su configuración socioeconómica. Vizcarra (2025) describe a Pichari como una “ciudad-cocalera”, donde la hoja de coca no solo constituye un símbolo emblemático, sino también un eje estructurante de su economía y urbanización. Este elemento explica, en parte, la presión constante sobre el territorio forestal, ya que la implementación de cultivos de mayor rentabilidad comercial – legales o ilegales – se ha identificado como uno de los principales motores de la deforestación en la amazonia peruana (Tenorio, 2021).

Asimismo, Ticona (2022) señala que la conversión de áreas con alta cobertura boscosa hacia usos agrícolas suele realizarse sin criterios técnicos adecuados, lo que genera degradación del suelo y favorece la ocurrencia de incendios forestales, en esta línea Mendoza y Rupa (2022) reportaron más de dos mil hectáreas afectadas por incendios en Cusco durante el periodo 2019 – 2021, evidenciando que las actividades antrópicas y el aumento de temperatura agravan la pérdida de cobertura forestal.

En conjunto, estos resultados evidencian una relación directa entre la expansión de actividades productivas, la dinámica urbana y la reducción del bosque en Pichari. Este comportamiento no es aislado, sino parte de procesos estructurales de ocupación territorial en la Amazonia peruana. En consecuencia, la clasificación y cuantificación realizadas confirmar la continuación del cambio de uso del suelo y aportan información clave para fortalecer el ordenamiento territorial, el manejo sostenible y el monitoreo de la cobertura vegetal.

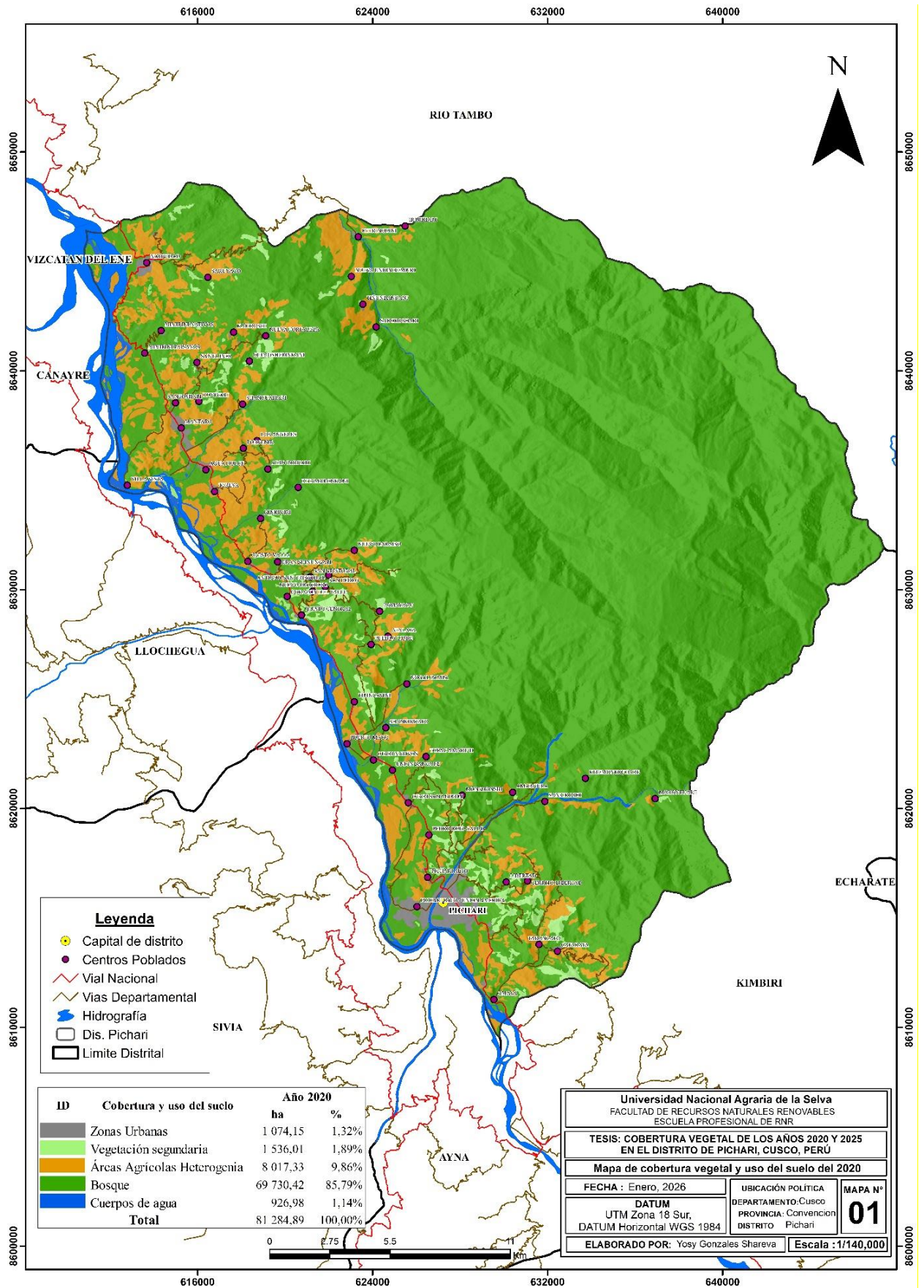


Figura 6. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2020.

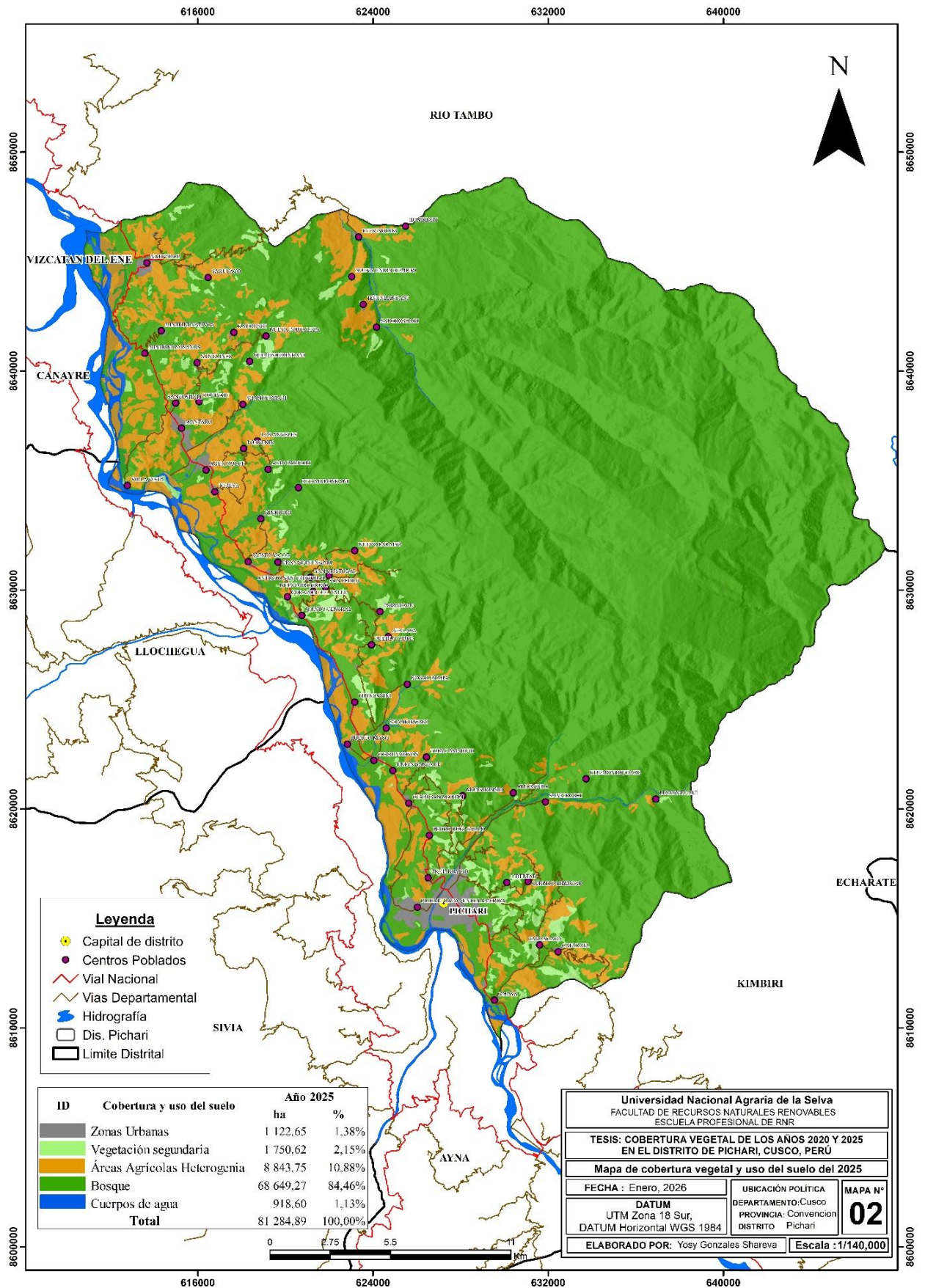


Figura 7. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2025.

4.2. Cálculo de la exactitud temática de cobertura vegetal del año 2020 y 2025 en el distrito de Pichari

Muestra la matriz de confusión del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2020, obtenida a partir de 170 sitios de validación georreferenciados de validación. La clasificación alcanzo una exactitud global de 87,06 %, lo que indica un buen nivel de correspondencia entre la información clasificada y los datos de referencia.

El índice de Kappa fue de 0,84, valor que, según la escala de interpretación, representa una concordancia casi perfecta, confirmando la confiabilidad del mapa generado.

La exactitud del usuario fue mayor en la clase Zonas Urbanas (0,91), seguida de Vegetación secundaria (0,88), mientras que las clases Áreas Agrícolas Heterogéneas, Bosque y Cuerpos de agua presentaron 0,85. En cuanto a la exactitud del productor, las clases Zonas Urbanas y Bosque mostraron los mejores resultados, mientras que vegetación secundaria presentó el mayor error de omisión (29%) asociado a la dinámica con otras coberturas (**Tabla 8**).

Tabla 9. Matriz de confusión del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del 2020.

Resultados de clasificación	Resultado de referencia						Exactitud, usuario	Error de omisión
	COD	ZU	VS	AAH	B	CA		
	ZU	31	2	1	0	0	34	0,91
	VS	0	30	4	0	0	34	0,88
	AAH	0	4	29	1	0	34	0,85
	B	0	2	2	29	1	34	0,85
	CA	0	4	1	0	29	34	0,85
	Total	31	42	37	30	30	170	
	Exactitud, productor	1	0,71	0,78	0,97	0,97	Exactitud Global = 87,06 %	
	Error omisión	0	0,29	0,22	0,03	0,03	Índice Kappa = 0,84	

La **Tabla 9** presenta la matriz de confusión del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo correspondiente al año 2025, elaborado a partir de 170 sitios de validación georreferenciados de validación. Los resultados muestran una exactitud global del 89,41; lo que evidencia una mejora respecto al año 2020 y confirma un alto nivel de confiabilidad del mapa.

El índice Kappa alcanzó un valor de 0,87; lo cual indica una concordancia casi perfecta entre la clasificación obtenida y los datos de referencia.

En cuanto a la exactitud del usuario, las clases Zonas Urbanas (0,94) y Cuerpos de agua (0,91) presentaron los valores más altos, mientras que Bosque mostro una exactitud de 0,85. Por su parte, la exactitud del productor fue máxima en la clase Bosque (1,00), indicando

una correcta identificación de esta cobertura, mientras que Vegetación secundaria registro el mayor error de omisión (25%), asociado al intercambio con otras coberturas.

Tabla 10. Matriz de confusión del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del 2025.

		Resultado de referencia						Exactitud, usuario	Error de omisión
Clasificación	COD	ZU	VS	AAH	B	CA	Total		
	ZU	32	2	0	0	0	34	0,94	0,06
	VS	2	30	2	0	0	34	0,88	0,12
	AAH	0	4	30	0	0	34	0,88	0,12
	B	0	3	1	29	1	34	0,85	0,15
	CA	0	1	2	0	31	34	0,91	0,09
	Total	34	40	35	29	32	170		
	Exactitud, productor	0,94	0,75	0,86	1	0,97	Exactitud Global = 89,41 %		
	Error omisión	0,06	0,25	0,14	0	0,03	Índice Kappa = 0,87		

En conjunto, los resultados indican evidencian que la clasificación del año 2020 y 2025 es adecuada para el análisis de la cobertura vegetal en el distrito de Pichari.

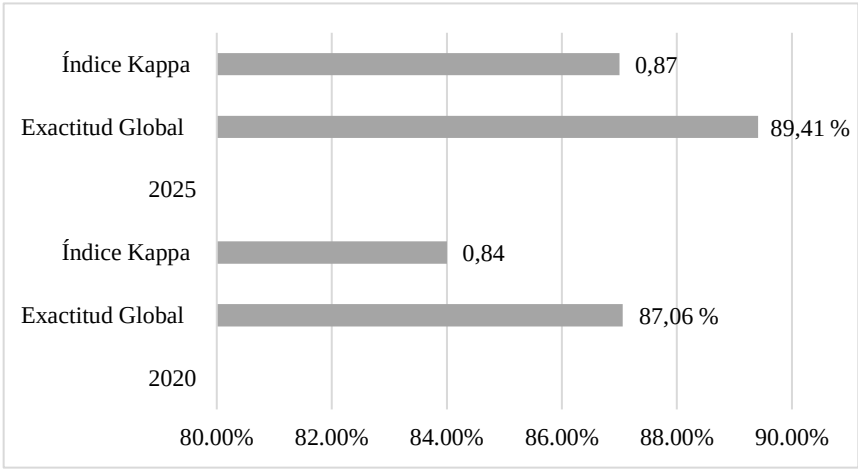


Figura 8. Evaluación comparativa de la exactitud temática de los mapas de cobertura vegetal (2020 y 2025).

La comparación muestra una mejora en la precisión temática del mapa de cobertura vegetal entre los años 2020 y 2025. En el año 2020, la exactitud global alcanzo el 87,06 %, con un índice Kappa de 0,84; lo que indica una concordancia casi perfecta entre la clasificación y los datos de referencia. Para el año 2025, la exactitud global se incrementó a 89,41, mientras que el índice Kappa aumentó a 0,87; evidenciando un mayor nivel concordancia y confiabilidad del proceso de clasificación. Concluyendo con una mejora progresiva en la calidad de la clasificación de las imágenes satelitales (**Figura 8**).

Los resultados obtenidos para los años 2020 y 2025 evidencia un alto nivel de confiabilidad en la clasificación de la cobertura vegetal, con exactitudes globales superiores al 87% y valores de índice kappa mayores al 0,84; lo que corresponde a una concordancia casi perfecta según la escala propuesta por el MINAM (2014). Estos valores confirman que el modelo Random Forest aplicado en Saga Gis logró una adecuada discriminación de las clases respaldando la validez del análisis multitemporal.

Al comparar estos resultados con investigaciones previas, se observa coherencia metodología y niveles de precisión similares. Cachay (2023) reportó una exactitud global de 89,8% y un índice Kappa de 0,86 en la validación de cobertura y uso del suelo, valores muy próximos a los obtenidos en el presente estudio. De manera similar Lora (2025) alcanzó una exactitud global de 89,6% y un índice Kappa de 0,86 en clasificación de cobertura boscosa, confirmando que los modelos supervisados basados en Random Forest presentando un desempeño robusto cuando se utilizan sitios de validación georreferenciados de validación distribuidos proporcionalmente por clase.

Asimismo, Santiago (2022) obtuvo una precisión global de 84% y un índice Kappa de 0,81, también clasificados dentro del rango de concordancia casi perfecta. Incluso Chavez (2023) registró un coeficiente Kappa de 0,79, considerado como concordancia considerable / buena, demostrando que valores cercanos a 0,80 ya permitió interpretar con confianza los resultados. Estos antecedentes permiten afirmar que los valores alcanzados en Pichari no solo son estadísticamente, sino que se encuentre dentro de los estándares aceptables para estudios de cambio cobertura en la Amazonia.

Las ligeras diferencias observadas entre clases principales de vegetación secundaria pueden atribuirse a la similitud espectral con áreas agrícolas heterogéneas, fenómeno común en paisajes tropicales donde los mosaicos agrícolas y áreas en regeneración presentan firmas espectrales semejantes. Moura et al., (2022) señalan que la conversión de bosque a cultivos y pasto genera transiciones graduales que dificultan la separación temática, especialmente en etapas tempranas de regeneración.

En conjunto, la alta exactitud obtenida respalda la confiabilidad de los mapas elaborados y garantiza que los resultados de cambio de cobertura y tasa de deforestación no responden a errores significativos de clasificación, sino a procesos reales de transformación territorial. Esto fortalece la consistencia metodológica del estudio y su utilidad para la planificación y gestión ambiental en el distrito de Pichari.

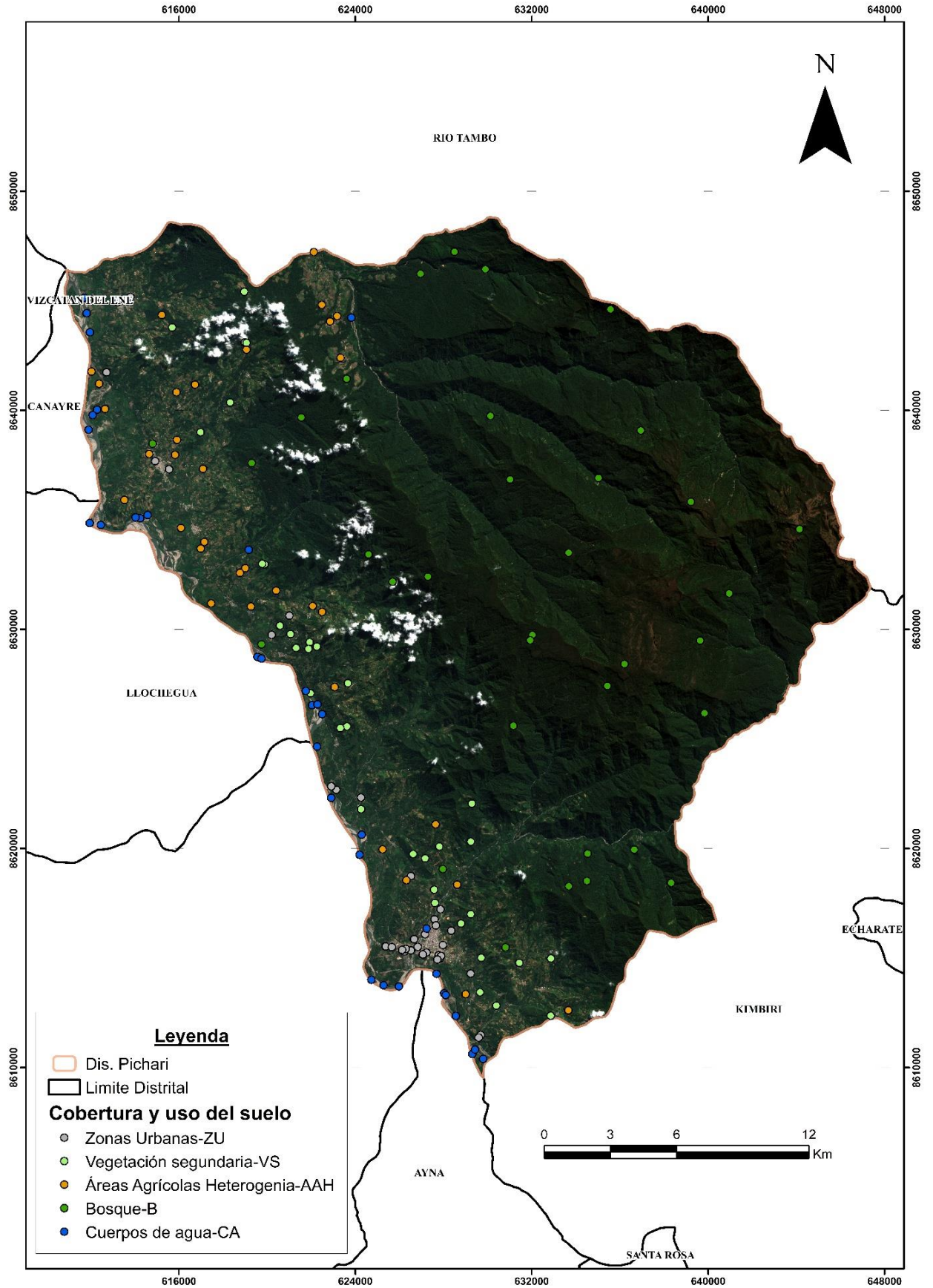


Figura 9. Sitios de validación georreferenciados para la exactitud temática del año 2020.

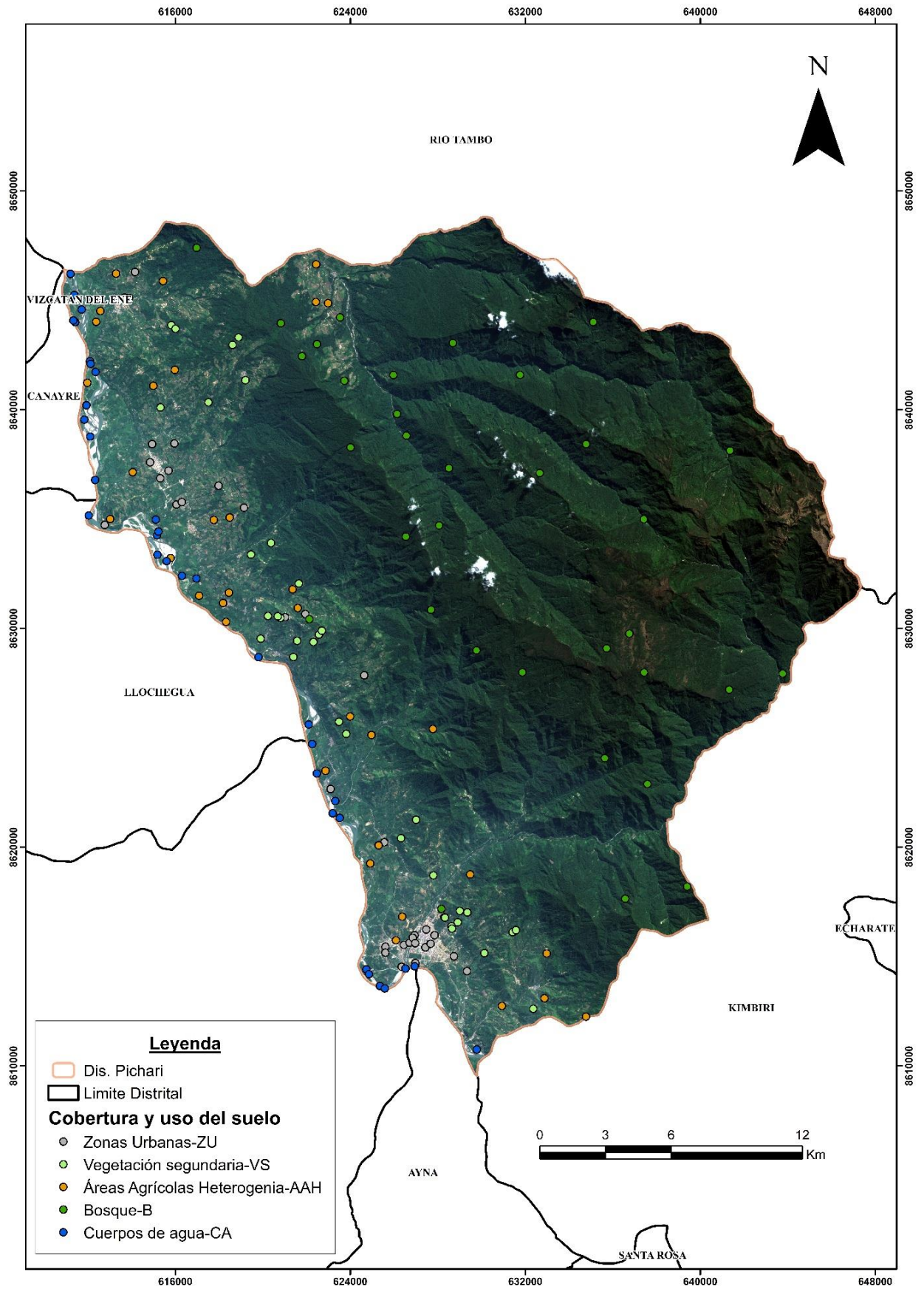


Figura 10. Sitios de validación georreferenciados para la exactitud temática del año 2025.

4.3. Estimación de los cambios de cobertura vegetal del 2020 al 2025 en el distrito de Pichari

4.3.1. Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo

Los resultados muestran cambios en la cobertura y uso del suelo del distrito de Pichari durante el periodo 2020 al 2025 (**Tabla 10**). Se registro un incremento en las zonas urbanas, la vegetación secundaria y las áreas agrícolas heterogéneas, con aumentos de 48,50 ha, 214,61 ha y 826,42 ha, respectivamente, lo que indica la expansión de actividades antrópicas causando deforestación.

Por el contrario, la cobertura de Bosque presento una disminución de 1 081,15 ha; siendo la pérdida más significativa del periodo asociada principalmente a la expansión agrícola. Los cuerpos de agua mostraron una leve reducción de 8,38 ha.

Tabla 11. Dinámica de cambio del periodo 2020 – 2025.

Cobertura y uso del suelo	COD	2020-2025		Cambio (ha)	Descripción
		ha	ha		
Zonas Urbanas	ZU	1 074,15	1 122,65	48,50	Aumentó
Vegetación secundaria	VS	1 536,01	1 750,62	214,61	Aumentó
Áreas Agrícolas Heterogéneas	AAH	8 017,33	8 843,75	826,42	Aumentó
Bosque	B	69 730,42	68 649,27	-1 081,15	Disminuyó
Cuerpos de agua	CA	926,98	918,60	-8,38	Disminuyó

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian una disminución de la cobertura de bosque de 69 730,42 ha en 2020 a 68 649,27 ha en 2025, lo que representa una pérdida total de 1 081,15 ha durante el periodo evaluado. Este valor muestra concordancia con la información reportada por el MINAM (2024), quien señala que en el distrito de Pichari la pérdida acumulada de bosque en los últimos cinco años (2020 y 2024) fue de 1 039ha, registrándose los picos más altos en 2020 (509 ha) y 2021 (246 ha). La similitud entre ambas cifras confirma la consistencia de los resultados obtenidos mediante la clasificación multitemporal.

Asimismo, la dinámica de cambio identificada responde a procesos estructurales vinculados al crecimiento económico, expansión agrícola y urbanización. Li et al. (2024) sostienen que el desarrollo económico acelerado y la expansión industrial modifican los patrones de uso del suelo, generando transferencias entre tierras forestales, agrícolas y otras categorías. De manera similar Zhou et al. (2024) señala que la urbanización provoca transformaciones significativas en el paisaje, reduciendo la conectividad ecológica y afectando los hábitats naturales.

En conjunto, los hallazgos demuestran que la pérdida de bosque en Pichari no constituye un evento aislado, sino que forma parte de una dinámica territorial compleja donde interactúan factores productivos, económicos y urbanos, lo cual coincide con los patrones regionales de cambio de uso del suelo reportados para la Amazonia peruana.

4.3.2. Matriz de transición del 2020 al 2025

La matriz de transición (2020 – 2025) muestra las conversiones entre coberturas y permite identificar estabilidad (diagonal), ganancias y pérdidas por categoría. En el periodo analizado, el bosque concentro la mayor pérdida neta de 1 081, 15 ha, principalmente transformaciones hacia áreas agrícolas heterogéneas (AAH) (892,86 ha) y vegetación secundaria (VS) (150,52 ha). Indicando la expansión agropecuaria y deforestación.

En contraste las AAH registraron la mayor ganancia neta (910,68 ha), seguida por vegetación secundaria VS (216,29 ha) y zonas urbanas (ZU) (48,50 ha). Los cuerpos de agua (CA) presentaron una variación menor, con ganancias de 9,44 ha, vinculada principalmente a transiciones desde AHH (17,82 ha) y bosque (6,09 ha). Por su parte, la categoría ZU se mantuvo sin pérdidas (**Tabla 11**).

Tabla 12. Transición del periodo 2020 al 2025.

	2025						Área total 2020	Pérdida
	COD	ZU	VS	AAH	B	CA		
2020	ZU	1 074,15					1 074,15	0,00
	VS	1,68	1 534,33				1 536,01	1,68
	AAH	15,13	65,77	7 933,08		3,35	8 017,33	84,26
	B	31,69	150,52	892,86	6 8649,27	6,09	69 730,42	1 081,15
	CA			17,82		909,16	926,98	17,82
Área total 2025		1 122,65	1 750,62	8 843,75	68 649,27	918,60	81 284,89	
Ganancia		48,50	216,29	910,68	0,00	9,44		

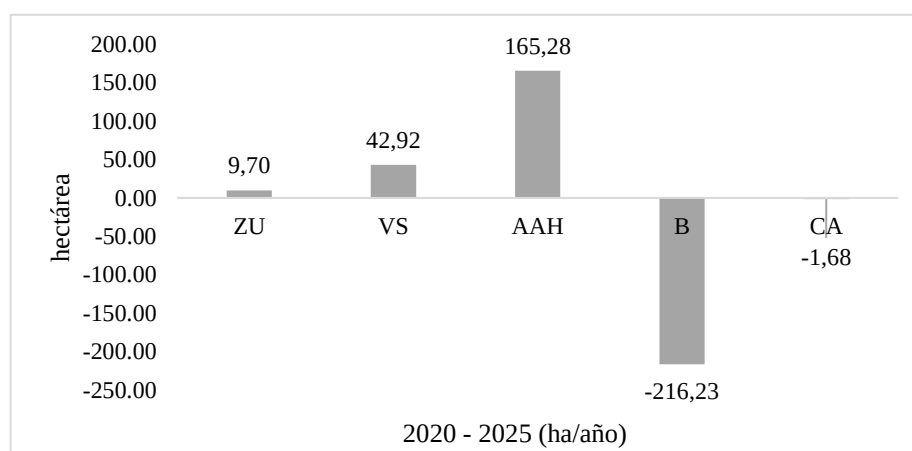
4.3.3. Tasa de cambio

La tasa de cambio para el periodo 2020 – 2025 evidencia una disminución anual de bosque de -0,31 %; equivalente a una pérdida promedio de 216,23 ha/años (**Tabla 12**), confirmando la tendencia de deforestación en el distrito de Pichari.

Las áreas agrícolas heterogéneas registraron el mayor incremento absoluto, con 165,28 ha/año (1,98 % anual), seguida por vegetación secundaria, que aumentó a una tasa de 42,92 ha/año (2,65 % anual), asociada a las actividades antrópicas. Las zonas urbanas indican un menor crecimiento (9,70 ha/año), mientras que los cuerpos de agua se redujeron ligeramente (-1,68 ha/año).

Tabla 13. Tasa de cambio del periodo 2020 al 2025.

Cobertura y uso del suelo	COD	2020-2025	
		%/año	ha/año
Zonas Urbanas	ZU	0,89	9,70
Vegetación secundaria	VS	2,65	42,92
Áreas Agrícolas Heterogéneas	AAH	1,98	165,28
Bosque	B	-0,31	-216,23
Cuerpos de agua	CA	-0,18	-1,68

**Figura 11.** Tasa de cambio en ha/año (2020 – 2025).

Los resultados muestran una dinámica de conversión forestal hacia usos agropecuario, observado tanto en estudio locales como regionales. En el caso de la zona de estudio (2003 – 2023), la matriz de transición muestra que el bosque registró la mayor pérdida con 14 810,47 ha transformadas, mientras que las principales ganancias se concentraron en pasto (11 768,99 ha) y áreas agrícolas heterogéneas (2 705,32 ha), confirmando una dirección clara del cambio hacia la expansión agropecuaria. Esta dinámica es reforzada por la tasa de cambio, donde el bosque presentó una reducción promedio de 613,83 ha/año, mientras que las áreas agrícolas heterogéneas crecieron 514,43 ha/año, evidenciando un proceso sostenido de sustitución de cobertura forestal (Lora, 2025).

Estos resultados guardan coherencia con lo reportado por Puerta (2023), quien identificó en la Zona de Amortiguamiento (ZA) pérdidas acumuladas de 188,78 ha (2017 – 2019) y 369,23 (2019 – 2021), principalmente transformadas en vegetación secundaria y cultivos. Las tasas asociadas fueron de -2,97% y -4,39%, respectivamente, valores considerablemente más altos que los registrados dentro del área protegida. Esto demuestra que las ZA concentran mayor presión antrópica y funcionan como espacios de expansión productiva.

De manera similar, Rios (2023) reporta para el periodo 2000 – 2020 una pérdida de bosque de 35 131,37 ha, con una tasa de -0,20 %/año (-1 756,57 ha/año), mientras que las áreas agrícolas heterogéneas registraron la mayor ganancia con 37 092,26 ha y una tasa de 0,93 %/año. Este comportamiento confirma que el avance de la frontera agrícola constituye el principal motor del cambio de uso del suelo.

En términos conceptuales, la cobertura forestal - entendida como el área denominada por vegetación arbórea que cumple determinados umbrales estructurales (Barchuk, 2020) cumple funciones ecológicas fundamentales. Su transformación implica no solo pérdida de superficie arbórea, sino también reducción de biodiversidad, alteración de servicios ecosistémicos y fragmentación del paisaje (Sánchez et al., 2022). En esta línea, Hatsey et al. (2024) documentaron pérdidas cercanas al 25 % en las últimas décadas asociadas a conversión agrícolas, patrón que coincide con las tendencias observadas en Aucasoma y en otras regiones.

Finalmente, la convergencia entre matriz de transición y tasa de cambio demuestra que la deforestación no es fenómeno aislado, sino un proceso estructural sosteniendo, impulsado por la expansión agropecuaria y la presión antrópica sobre el territorio. La consistencia de los valores reportados en distintos estudios refuerza la concordancia de los resultados obtenidos y confirma que la conversión bosque - agricultura sigue siendo la principal dirección del cambio en los paisajes amazónicos.

V. CONCLUSIONES

1. Se clasificó y cuantificó la cobertura vegetal del distrito de Pichari para los 2020 y 2025 mediante imágenes satelitales PlanetScope y el algoritmo Random Forest, identificándose cinco categorías de cobertura: bosque, áreas agrícolas heterogéneas, vegetación secundaria, zonas urbanas y cuerpos de agua. La cartografía generada permitió determinar la distribución espacial y extensión de cada cobertura, constituyendo una base confiable para el análisis de los cambios ocurridos durante el periodo de estudio.
2. La evaluación de la exactitud temática mostró resultados satisfactorios para ambos años. En 2020 se obtuvo una exactitud global de 87,06 % y un índice Kappa de 0,84, mientras que en 2025 la exactitud global aumento a 89,41 % con un índice Kappa de 0,87. De acuerdo con la escala de interpretación del coeficiente Kappa, ambos valores corresponden a un nivel de concordancia casi perfecto.
3. Durante el periodo 2020-2025 se determinó una pérdida neta de 1 081,15 ha de bosque, registrándose una tasa de cambio anual de (-0,31) 216,23 ha/año. La matriz de transición confirma que el principal motor de cambio fue la conversión de bosques hacia AAH 892,85 ha y VS 150,52 ha, lo que ratifica que la expansión de la frontera agrícola es la causa directa de la deforestación en Pichari.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Implementar un sistema de monitoreo continuo de la cobertura vegetal, utilizando imágenes satelitales de alta resolución como PlanetScope y Sentinel-2, debido que los resultados del estudio muestran cambios, de cobertura y uso del suelo, este monitoreo permitiría detectar nuevas áreas intervenidas.
- Fortalecer la planificación territorial y agrícola con enfoque de sostenibilidad, se priorizando las zonas donde se registró mayor conversión de bosque hacia áreas agrícolas heterogéneas. Esta propuesta se sustenta en que dichas zonas representan presión sobre los ecosistemas forestales, por lo que su adecuada gestión reduciría la expansión no planificada y promover un uso más ordenado del territorio.
- Incorporar los resultados del estudio en la toma de decisiones locales, apoyando a las autoridades y actores locales con información espacial, porque la investigación identificó patrones de cambio lo que sirve como base técnica para la formulación de políticas ambientales y estrategias de desarrollo sostenible.
- Ampliar futuras investigaciones hacia análisis multitemporales en periodos más largos, para comprender mejor los cambios en la cobertura y uso del suelo. Esto se recomienda porque el periodo evaluado permitió tendencias importantes, pero una serie de tiempo más amplio ayudaría a reconocer patrones de cambio más claros y su evolución en el tiempo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, W., & Chávez, T. (2004). Manual: Procesamiento digital de imágenes. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Axessnet. (2023). Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana. <https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>
- Barchuk, A. (2020). Manual de buenas prácticas para la conservación de bosques nativos. Editorial Brujas.
- Bocco, G., Mendoza, M. E., & Masera, O. (2018). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, Boletín N.º 44, 18–38.
- Bravo, N. (2017). AGIS más complemento de clasificación semiautomático: Teledetección espacial Landsat, Sentinel2, Aster it y Modis. Geomática Ambiental.
- Bravo, N. (2018). Teledetección espacial y procesamiento de imágenes satelitales de acceso gratuito con el uso de software libre. Geomática Ambiental S.R.L.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>
- Cachay, R. (2023). Dinámica del cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca Jucusbamba, 1992-2022. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la UNAS. https://repository.unas.edu.pe/handle/unas/tesis_jucusbamba2023
- Chávez, F. (2023). Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el distrito cafetalero de Ocumal, Luya – Amazonas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3404/Cleyton%20Francisco%20Chavez%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chuvieco, E. (2011). Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio (4.ª ed.). Digital Reasons.
- Chuvieco, E. (2019). Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio. Digital Reasons.
- Chuvieco, E., & Huete, A. (2009). Fundamentals of satellite remote sensing. <https://doi.org/10.1201/b18954>
- Cochran, W. (1997). *Técnicas de Muestreo* (3 ed.). Nueva York: John Wiley & Sons.

- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., & Böhner, J. (2015). Sistema para análisis geocientíficos automatizados (SAGA). <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Convención Marco de Naciones Unidas ante el Cambio Climático. (2002). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su Séptimo Período de Sesiones, celebrado en Marrakech del 29 de octubre al 10 de noviembre de 2001: Segunda parte. Medidas adoptadas por la Conferencia de las Partes. <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop7/cp713a01s.pdf>
- Falcón, O. (2014). Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, en una región del Estado de Quintana Roo, México: El impacto de las políticas gubernamentales sobre el manejo forestal comunitario [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707773/0707773.pdf>
- Flores, J. (2023). Potencialidad de las imágenes PlanetScope para diferenciar vegetación en ecosistemas cenagosos tropicales: Caso de aplicación: Sector Ciénaga Guartinaja del complejo cenagoso del bajo Sinú, Montería–Córdoba [Tesis de grado, académico, Universidad de Córdoba]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/ea39c29d-283e-4c31-97d6-239b75ce58cl/content>
- Gerrand A., Lindquist E., D’Annunzio R. 2011. Un estudio por teledetección permite actualizar los cálculos de pérdidas de superficies forestales. *Unasylva* 62 (238): 3-11.
- Hatsey, A., Yahya, N., Eshete, A., & Gidey, T. (2024). Land use and land cover changes, and woody vegetation status of the Tsimur Gebriel Monastery in Northern Ethiopia. *Heliyon*, 10(14), e34200. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34200>
- Hernández, R., Hernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2010). Leyenda nacional de cobertura de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000. Bogotá: Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2016). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205–241.

- Lara, B. (2014). Fragmentación de pastizales en el centro de la provincia de Buenos Aires mediante imágenes Landsat [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires]. <https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/439>
- Li, X., Qin, D., He, X., Wang, C., Yang, G., Li, P., Liu, B., Gong, P., & Yang, Y. (2024). Spatial and temporal changes in land use and landscape pattern evolution in the economic belt of the northern slope of the Tianshan Mountains in China. *Sustainability*, 16(16), 7003. <https://doi.org/10.3390/su16167003>
- Lora, E. (2025). Análisis del grado de fragmentación en la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Maraón, Huánuco, Perú [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/c56ea88e-3d71-4f79-97df-7da371721538>
- Mendoza, S., & Rupa, J. (2022). Pérdida de cobertura vegetal a causa de los incendios forestales durante 2019–2021 en la localidad de San Jerónimo, Cusco. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91340/Mendoza_A%20S-Rupa_QJM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio del Ambiente. (2014). Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wpcontent/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2014). Protocolo: Evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación (p. 19). Dirección General de Ordenamiento Territorial. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wpcontent/uploads/sites/18/2013/10/Protocolo-Validacion-Mapa-Deforestacion.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático (Decreto Supremo N.º 007-2016-MINAM). Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2016). La conservación de los bosques en el Perú (2011–2016): Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde (Informes sectoriales). Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2019). Monitoreo de la pérdida de bosques húmedos amazónicos en el año 2019. Reporte de Geobosque. <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php>
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2024). GeoBosques: Sistema de monitoreo de la cobertura de los bosques del Perú. <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>

- Municipalidad Distrital de Pichari. (2025). *Plan de Desarrollo Local Concertado de Pichari al 2040 (PDLC)*. <https://web.munipichari.gob.pe/wp-content/uploads/2025/07/PDLC-PICHARI-AL-2040.pdf>
- Moura, A., Fernandes, G., Lopes, J., Lima, E., Lopes, P., Rodrigues, L., & Gonçalves, A. (2022). Changes in land use and cover and their consequences on the spatial distribution of evapotranspiration and climatic elements in southwest Piauí, MATOPIBA. *Journal of South American Earth Sciences*, 120, 104084. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104084>
- Municipalidad Distrital de Pichari. (2022). Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Pichari 2011–2021. Cusco.
- Naciones Unidas. (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial. United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210024938>
- Nakamo, S. J., Syartinilia, & Setiawan, Y. (2022). Assessment of land cover changes in Litumbandyosi–Gesimasowa Game Reserve using remote sensing and GIS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 950, 012083.
- Nghia, N. V., Thu, T. T., Bui, B. T. T. H. T., Huong, D. T., & Cuc, N. T. (2021). Object-based land cover classification of the Vu Gia–Thu Bon river basin on the cloud computing platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 1809(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1809/1/012039>
- Olaya, V. (2014). Sistemas de información geográfica. <https://hdl.handle.net/11537/25452>
- Olaya, V. (2020). Sistemas de información geográfica. <https://github.com/volaya/libro-sig/releases/download/v3.0/Sistemas.de.Informacion.Geografica.pdf>
- Orduña, F. (2007). Aplicaciones de software SIG: ArcGIS 9.2. Lección 1: Introducción a ArcGIS Desktop (9.ª ed.). UNIGIS Girona, Universidad de Girona.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1996). Forest resources assessment 1990: Survey of tropical forest cover and study of change processes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm#TOC>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2012). Estado de los bosques del mundo 2012. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2016). Estado de los bosques del mundo 2012. FAO. <http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). FRA: Términos y definiciones. Documento de trabajo. www.fao.org/forestry/fra

- Pérez, J. (2024). Cultura forestal y diferenciación profesional. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 59, 89–120. <https://doi.org/10.5477/cis/reis.59.89>
- Planet Labs. (2022). PlanetScope product specifications. <https://apollomapping.com/planetscope-satellite-imagery>
- Pontius, G., Shusas, E., & Mceachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34(9), 612–616.
- Puerta, T. (2023). Dinámica de la cobertura boscosa del Parque Nacional Tingo María (PNTM) y su zona de amortiguamiento (ZA) mediante imágenes Sentinel-2 y Random Forest [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstreams/cf071a01-e063-4ef8-ae8a-e1047c4e0470/download>
- Puerta, R., Renjifo, J., & Bravo, N. (2011). Conceptos básicos de ArcGIS básico 10. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://www.geogpsperu.com/2013/12/manual-de-arcgis-10-en-espanol-pdf.html>
- Revathi, K., Tamilselvi, T., Arunkumar, R., & Samyurai, A. (2022). A smart drone for ensuring precision agriculture with artificial neural network. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 13(3), 897–906. <https://doi.org/10.21817/indjcse/2022/v13i3/221303025>
- Ríos, M. (2023). Dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo en el periodo 2000–2020 [Tesis de grado/tesis de maestría/tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/390ca944-b5ae-4376-aeaa-fe22f5e7a70e>
- Sanchez, M., Carlos, A., Castro, Z., Raziel, D., & Cruz, M. (2022). Afectación de la cobertura vegetal en el departamento de Madre Dios por actividades extractivas ilegales, 2022. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/119658/Zapata_CR%20D-Sanchez_MCA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santiago, H. (2022). Análisis multitemporal (1990–2020) para la variación de cobertura y uso del suelo del distrito de Kimbiri, provincia La Convención, Cusco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/c9808536-08c2-44e3-8d17-6bb3d3973a73>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2022). Resolución Presidencial N.º 331-2022-SERNANP: Lineamientos de Gestión de Información Geográfica del SERNANP (p. 17). Gobierno del Perú.

- <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4007065/RESOLUCION%20PRESIDENCIAL%20N%20331-2022-SERNANP.pdf?v=1672347389>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). Climas del Perú: Mapa de clasificación climática (1.^a ed.). <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/2158106-climas-del-peru-mapa-de-clasificacion-climatica>
- Singh, P., & Khanduri, K. (2018). Land use and land cover change detection through remote sensing & GIS technology: Case study of Pathankot and Dhar Kalan Tehsils, Punjab. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1, 839–846.
- Supo, J. (2012). Seminario de la investigación científica: Sinopsis del libro. <http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/1000012/un3/pdf/seminv-sinopsis.pdf>
- Stehman, E. V. (2009). Diseños de muestreo para la evaluación precisa de la cobertura del suelo. *Revista internacional de teledetección*, 30(20), 5243-5272. <https://doi.org/10.1080/01431160903131000>
- Tarazona, Y. (2019). Algoritmos de machine learning en la teledetección. APROGIS. <https://aprogis.com/blogs/algoritmos-de-machine-learning-en-la-teledeteccion>
- Tenorio, A. (2021). Políticas de promoción de la caficultura y deforestación en el departamento de San Martín, 2007–2019. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/56207/Tenorio_PASD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ticona, S. (2022). Análisis de la deforestación producida por incendios forestales durante el periodo 2015–2021 en la subcuenca Huatanay de Cusco. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/107488/Ticona_VS%20A-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vizcarra, C. (2025). Pichari, la ciudad cocalera: mercados ilegales y urbanización amazónica peruana. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)*. <https://www.scielo.br/j/rbeur/a/htjLwPfWykq3Bc5kg3JcyKB/>
- Zhou, X., Chu, Z. & Ji, X. (2024). Changes in the land-use landscape pattern and ecological network of Xuzhou planning area. *Scientific Reports*, 14(1), 8854. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59572-9>

ANEXO

Anexo A. Mapas

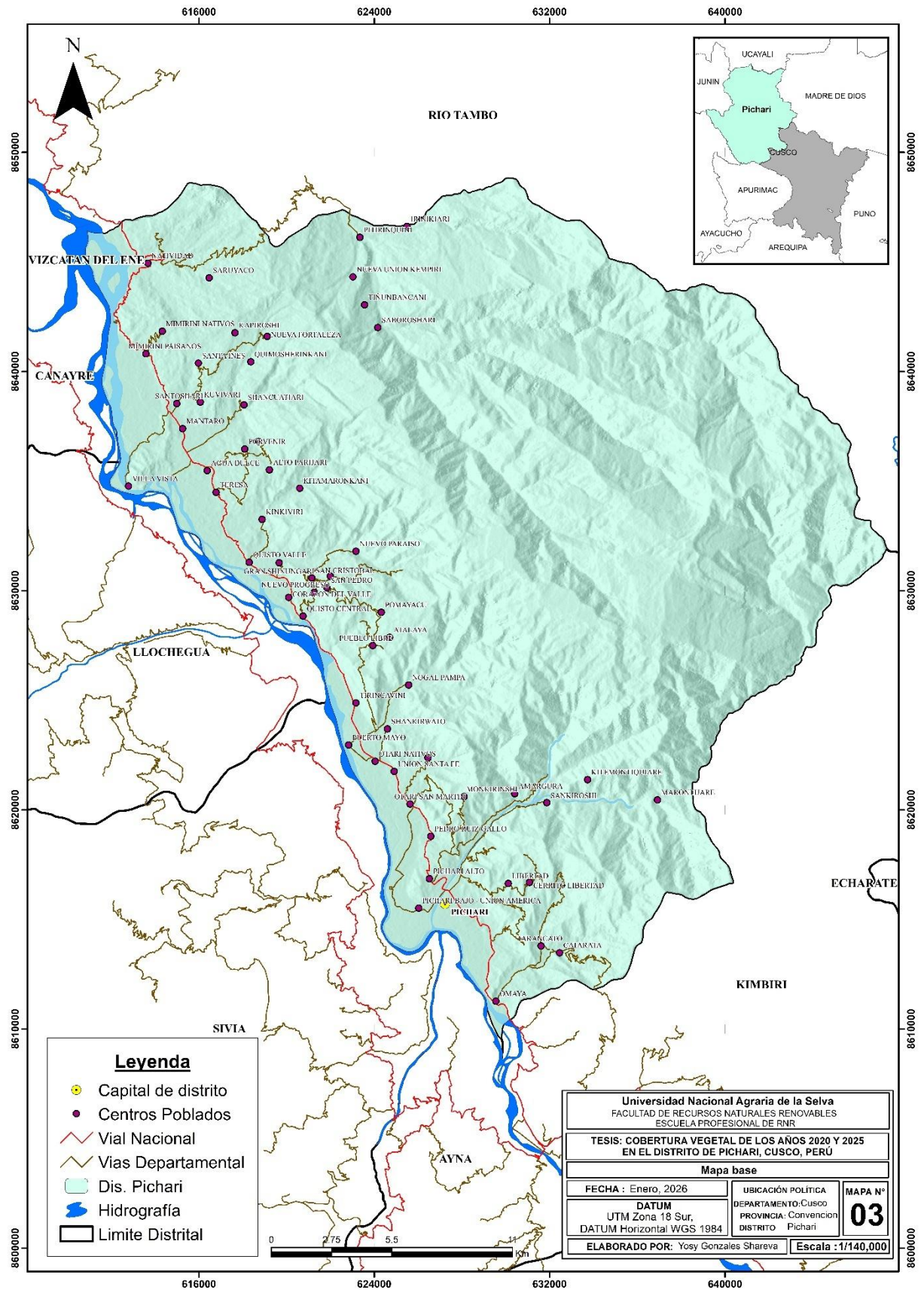


Figura 12. Mapa base del distrito de Pichari.

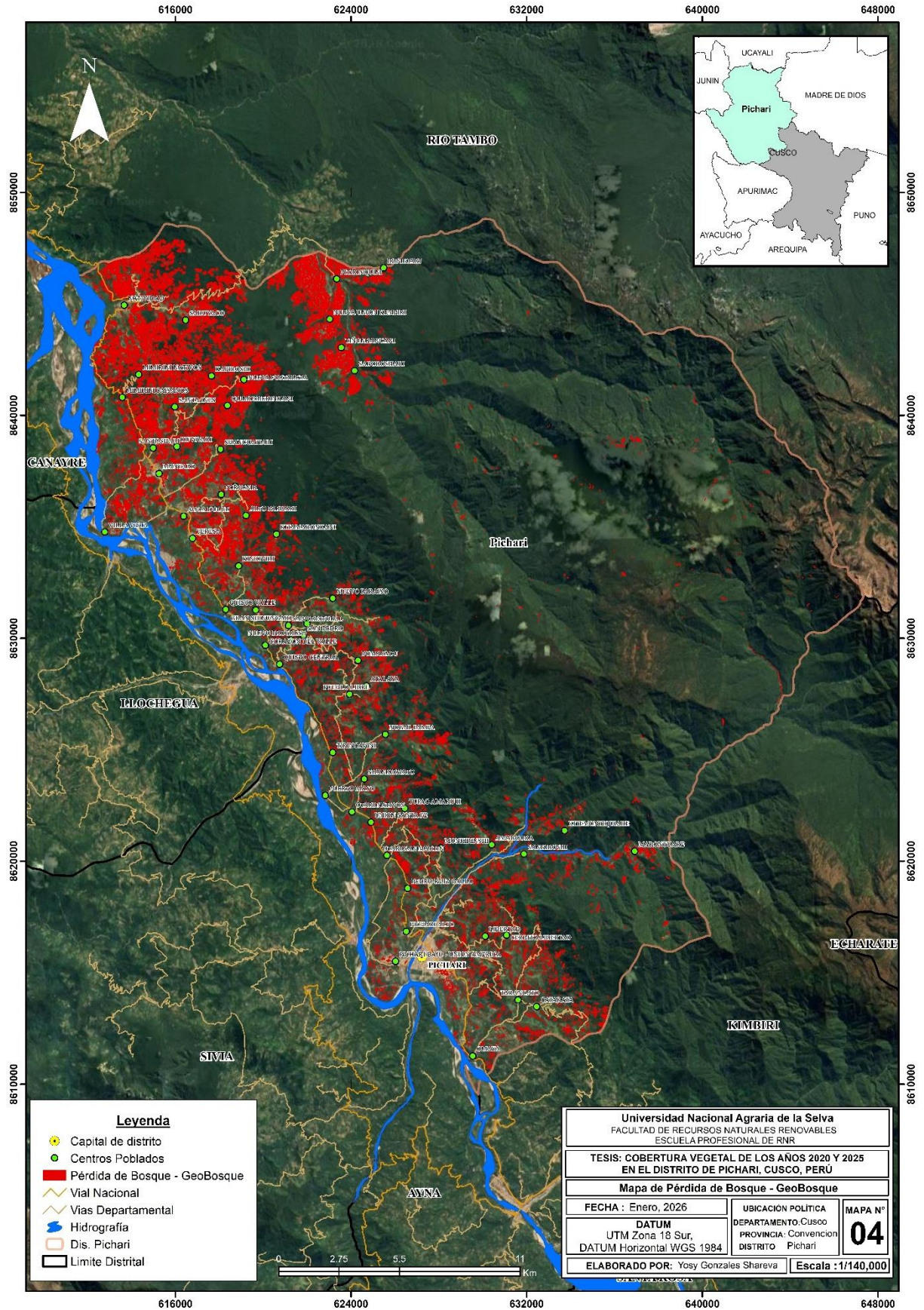


Figura 13. Mapa de pérdida de bosque – Geobosque del 2001 al 2024.

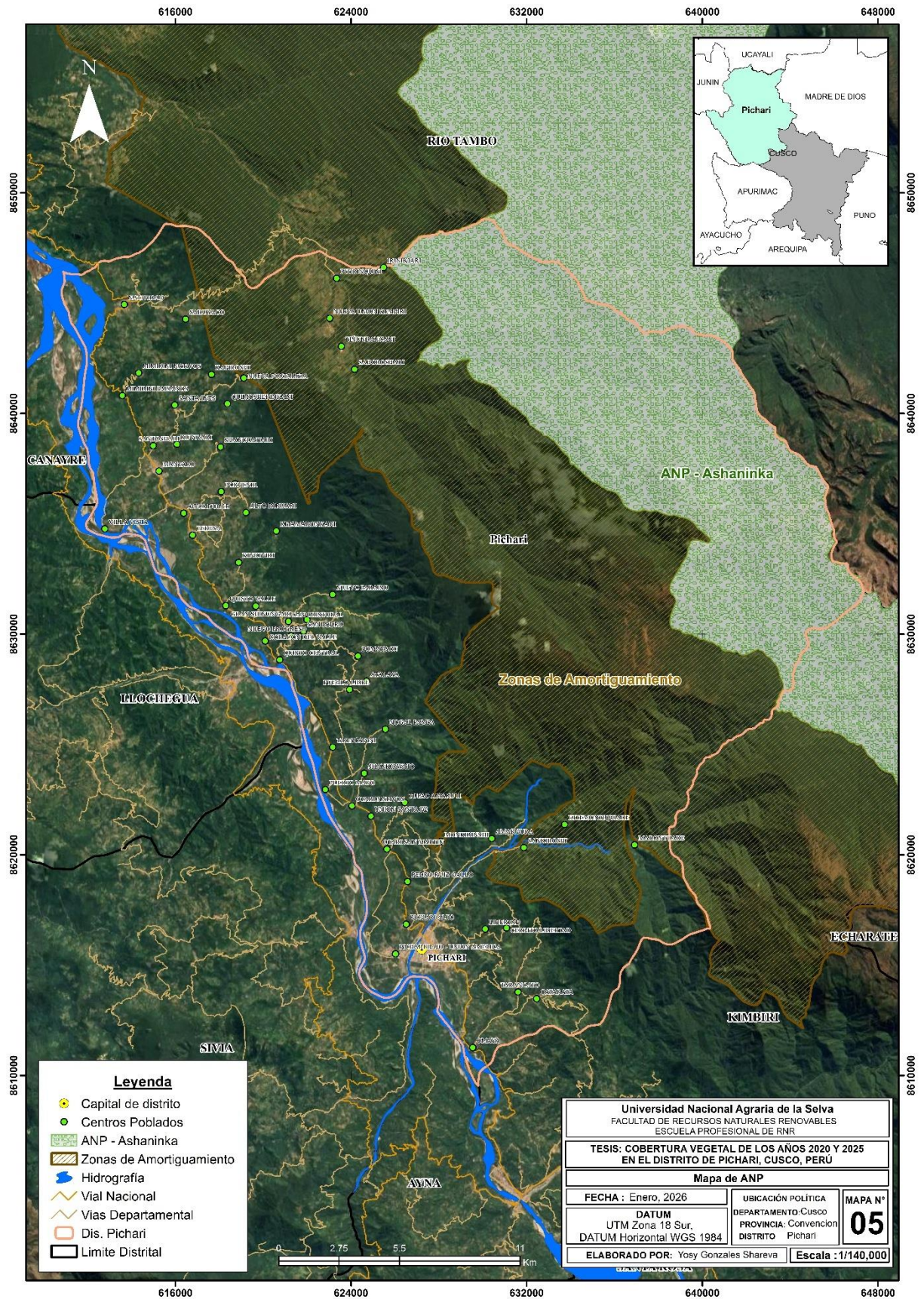


Figura 14. Mapa de área naturales protegidas.

Tabla 14. Comprobación de la precisión temática del mapa de cobertura para el año 2025.

FID	Cobertura categorizada	Cobertura comprobada	Validar	Este	Norte
1	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626977	8614700
2	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	621023	8630509
3	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	624641	8627852
4	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627473	8616232
5	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626452	8615528
6	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	617980	8636519
7	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	616051	8635661
8	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	616300	8635774
9	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627435	8615414
10	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	613884	8645105
11	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627854	8615975
12	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626351	8614530
13	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	625611	8615444
14	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	615693	8637210
15	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	615959	8638453
16	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626715	8615629
17	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	625556	8620216
18	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626942	8615966
19	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626855	8615857
20	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	614944	8638424
21	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	612775	8634727
22	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	628299	8616796
23	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626969	8615608
24	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	619139	8635516
25	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	625605	8615173
26	Zonas Urbanas	Vegetación secundaria	Incorrecto	614157	8646296
27	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627672	8615584
28	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	613677	8645123
29	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	629336	8614330
30	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	614852	8637594
31	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	623104	8622656
32	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	628739	8615010
33	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	621947	8630660
34	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	615314	8636863
35	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	629010	8617086
36	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	618616	8642963
37	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	623486	8625731
38	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	622569	8629717
39	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	631427	8616113
40	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	626325	8620407
41	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	620811	8630479
42	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	631578	8616200
43	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	628913	8616564

44	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	621573	8629427
45	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	615324	8640104
46	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	621403	8628689
47	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	628630	8616379
48	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	620238	8630566
49	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	619208	8641349
50	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	618893	8643305
51	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	627011	8621251
52	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	630135	8615152
53	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	621653	8632050
54	Vegetación secundaria	Zonas Urbanas	Incorrecto	632366	8612607
55	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	615821	8643860
56	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	623817	8625175
57	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	622318	8629376
58	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	619462	8633377
59	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	616012	8643694
60	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	629353	8617017
61	Vegetación secundaria	Zonas Urbanas	Incorrecto	628652	8616275
62	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	620376	8633902
63	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	617514	8640335
64	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	620687	8630553
65	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	622703	8629895
66	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	627800	8618710
67	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	619906	8629529
68	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	628331	8616776
69	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	612573	8644507
70	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	618323	8630298
71	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	624971	8625130
72	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	612383	8644014
73	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	618453	8631630
74	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	617088	8631492
75	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	621602	8630931
76	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	632882	8613089
77	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622984	8644869
78	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	634778	8612251
79	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	627778	8625401
80	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	613292	8646215
81	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622441	8646642
82	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622868	8623491
83	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Vegetación secundaria	Incorrecto	611980	8641225
84	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	615977	8641818
85	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Vegetación secundaria	Incorrecto	615787	8633214
86	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	613027	8634999
87	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622431	8644921
88	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	617764	8634958
89	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	625296	8620081

90	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	618487	8635069
91	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	632984	8615137
92	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	630936	8612739
93	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	623995	8625972
94	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	614053	8637140
95	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	629483	8618752
96	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	614996	8641086
97	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Vegetación secundaria	Incorrecto	624915	8619253
98	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	621365	8631784
99	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	615442	8645880
100	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	626376	8616822
101	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	618188	8631157
102	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	626090	8615740
103	Bosque	Bosque	Real	636571	8617637
104	Bosque	Bosque	Real	628690	8643045
105	Bosque	Bosque	Real	627695	8630853
106	Bosque	Bosque	Real	626571	8638811
107	Bosque	Bosque	Real	625971	8641582
108	Bosque	Bosque	Real	641327	8627203
109	Bosque	Bosque	Real	636762	8629759
110	Bosque	Vegetación secundaria	Incorrecto	632662	8637103
111	Bosque	Bosque	Real	628166	8617177
112	Bosque	Bosque	Real	628512	8637324
113	Bosque	Bosque	Real	641367	8638128
114	Bosque	Bosque	Real	635639	8624063
115	Bosque	Vegetación secundaria	Incorrecto	628065	8634707
116	Bosque	Bosque	Real	635109	8644005
117	Bosque	Bosque	Real	629779	8628994
118	Bosque	Bosque	Real	622133	8630421
119	Bosque	Bosque	Real	639402	8618198
120	Bosque	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	622481	8642995
121	Bosque	Bosque	Real	623734	8641319
122	Bosque	Bosque	Real	637435	8627985
123	Bosque	Bosque	Real	624016	8638275
124	Bosque	Bosque	Real	626144	8639801
125	Bosque	Vegetación secundaria	Incorrecto	637423	8634987
126	Bosque	Bosque	Real	637585	8622884
127	Bosque	Bosque	Real	635727	8629087
128	Bosque	Bosque	Real	634789	8638427
129	Bosque	Bosque	Real	623538	8644217
130	Bosque	Bosque	Real	631763	8641589
131	Bosque	Bosque	Real	631871	8627990
132	Bosque	Bosque	Real	620821	8643947
133	Bosque	Bosque	Real	626543	8634192
134	Bosque	Bosque	Real	643774	8627930
135	Bosque	Bosque	Real	621792	8642443

136	Bosque	Cuerpos de agua	Incorrecto	616978	8647397
137	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612098	8642214
138	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	615109	8634973
139	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	624737	8614409
140	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	622472	8623366
141	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	615184	8633366
142	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612130	8642092
143	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612354	8641726
144	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	623317	8622110
145	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	625357	8613651
146	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612043	8635163
147	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	625581	8613541
148	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	619804	8628684
149	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612110	8638769
150	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611383	8645241
151	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	615168	8634257
152	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611843	8639543
153	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	629786	8610749
154	Cuerpos de agua	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	612338	8636783
155	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611937	8640198
156	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	623517	8621335
157	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611212	8646207
158	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	616306	8632403
159	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	622098	8625605
160	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611722	8644577
161	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611423	8643996
162	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611340	8644079
163	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	622260	8624713
164	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	615230	8634427
165	Cuerpos de agua	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	626524	8614446
166	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	616968	8632280
167	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	623194	8621546
168	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	624855	8614192
169	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	615605	8633073
170	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	626943	8614550

Tabla 15. Comprobación de la precisión temática del mapa de cobertura para el año 2020.

FID	Cobertura categorizada	Cobertura comprobada	Validar	Este	Norte
1	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626237	8615299
2	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627826	8614963
3	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627597	8616760
4	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	623137	8622673
5	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626836	8615503
6	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	629233	8614285
7	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	624259	8622321
8	Zonas Urbanas	Vegetación secundaria	Incorrecto	627652	8616484
9	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	612719	8641731

10	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	614925	8637677
11	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626523	8615340
12	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	625377	8615522
13	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626288	8615411
14	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	615561	8637304
15	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626127	8615367
16	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	629689	8611479
17	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	613807	8645175
18	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	628354	8616246
19	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	613215	8644937
20	Zonas Urbanas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	625660	8615492
21	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627791	8615122
22	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627233	8615242
23	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	621013	8630623
24	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	622910	8622835
25	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627165	8616078
26	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627889	8615088
27	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	620212	8629745
28	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627972	8615588
29	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627865	8617220
30	Zonas Urbanas	Vegetación secundaria	Incorrecto	626667	8615856
31	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	629597	8611363
32	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627724	8614927
33	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	627065	8615157
34	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Real	626529	8618734
35	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	629290	8622046
36	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	619888	8632964
37	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	632874	8614973
38	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	629242	8620304
39	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	629237	8616996
40	Vegetación secundaria	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	621934	8629411
41	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	618330	8640358
42	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	618987	8643088
43	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	632865	8612359
44	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	615698	8643781
45	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	621968	8627083
46	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	622256	8629210
47	Vegetación secundaria	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	626626	8619742
48	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	621317	8629148
49	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	630401	8612824
50	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	627576	8618115
51	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	619069	8643072
52	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	616983	8638998
53	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	623665	8627542
54	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	620586	8630164
55	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	623622	8625566

56	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	627169	8619543
57	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	629716	8615008
58	Vegetación secundaria	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	623325	8625492
59	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	631436	8614776
60	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	624265	8621789
61	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	619780	8632991
62	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	628796	8616567
63	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	627613	8617506
64	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	621064	8629780
65	Vegetación secundaria	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	618967	8645408
66	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	629659	8613430
67	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	627816	8620083
68	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Real	621876	8629106
69	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	628622	8618341
70	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622495	8630793
71	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	615894	8640820
72	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	616728	8641169
73	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	616095	8634624
74	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	615829	8637963
75	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	619009	8632789
76	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	627647	8621097
77	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	623180	8644299
78	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Vegetación secundaria	Incorrecto	622122	8647221
79	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	612382	8641208
80	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Vegetación secundaria	Incorrecto	629009	8613347
81	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	613531	8635906
82	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	617156	8633987
83	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	615915	8638648
84	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	626318	8618545
85	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	614652	8638000
86	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Vegetación secundaria	Incorrecto	625242	8619955
87	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	617465	8631181
88	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	618769	8632575
89	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622483	8644812
90	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	620414	8631766
91	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622069	8631063
92	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Vegetación secundaria	Incorrecto	617093	8637329
93	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	623330	8642396
94	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	619269	8631040
95	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	612038	8641768
96	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	615226	8644350
97	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	623066	8627365
98	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	622856	8644055
99	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	616994	8633686
100	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	633665	8612605
101	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Bosque	Incorrecto	612651	8640060

102	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Real	619066	8642764
103	Bosque	Bosque	Real	639838	8626169
104	Bosque	Bosque	Real	631175	8625596
105	Bosque	Bosque	Real	638327	8618425
106	Bosque	Bosque	Real	630814	8615482
107	Bosque	Bosque	Real	625692	8632170
108	Bosque	Bosque	Real	630132	8639741
109	Bosque	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	631018	8636842
110	Bosque	Bosque	Real	632034	8629743
111	Bosque	Bosque	Real	624599	8633420
112	Bosque	Bosque	Real	626958	8646233
113	Bosque	Bosque	Real	628503	8647234
114	Bosque	Vegetación secundaria	Incorrecto	621552	8639671
115	Bosque	Bosque	Real	644144	8634574
116	Bosque	Bosque	Real	631935	8629498
117	Bosque	Bosque	Real	619304	8637592
118	Bosque	Bosque	Real	640957	8631639
119	Bosque	Bosque	Real	635028	8636904
120	Bosque	Bosque	Real	623613	8641437
121	Bosque	Bosque	Real	633677	8633493
122	Bosque	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	627291	8632402
123	Bosque	Bosque	Real	619750	8629312
124	Bosque	Bosque	Real	635428	8627414
125	Bosque	Bosque	Real	636950	8639073
126	Bosque	Bosque	Real	627970	8619056
127	Bosque	Bosque	Real	614809	8638474
128	Bosque	Vegetación secundaria	Incorrecto	636651	8619943
129	Bosque	Bosque	Real	634507	8618515
130	Bosque	Bosque	Real	639645	8629487
131	Bosque	Bosque	Real	635575	8644604
132	Bosque	Bosque	Real	639222	8635817
133	Bosque	Bosque	Real	634538	8619764
134	Bosque	Cuerpos de agua	Incorrecto	636209	8628416
135	Bosque	Bosque	Real	629898	8646433
136	Bosque	Bosque	Real	633683	8618272
137	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	619563	8628744
138	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	614244	8635070
139	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	614584	8635217
140	Cuerpos de agua	Vegetación secundaria	Incorrecto	621759	8627188
141	Cuerpos de agua	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Incorrecto	622493	8626130
142	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611818	8644428
143	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	629305	8610613
144	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	622909	8622310
145	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612294	8640028
146	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	628030	8613385
147	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	624733	8614002

148	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	619748	8628663
149	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	624291	8620621
150	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612462	8634766
151	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611958	8634850
152	Cuerpos de agua	Vegetación secundaria	Incorrecto	628558	8612354
153	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	622043	8626538
154	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	625977	8613696
155	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	628100	8613305
156	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611706	8645137
157	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611911	8639109
158	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	625282	8613750
159	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	623824	8644226
160	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	627235	8616342
161	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	619168	8633631
162	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	622286	8626574
163	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	629799	8610395
164	Cuerpos de agua	Vegetación secundaria	Incorrecto	614036	8635109
165	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	611966	8643558
166	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	612091	8639774
167	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	627685	8614275
168	Cuerpos de agua	Vegetación secundaria	Incorrecto	622267	8624649
169	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	629431	8610817
170	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Real	624195	8619708

Anexo C. Panel fotográfico

	Vista a partir de imágenes aéreas	Vista a partir de imágenes PlanetScope
Zonas Urbanas		
Vegetación secundaria		
Áreas Agrícolas Heterogenia		
Bosque		
Cuerpos de agua		

Figura 15. Visualización espacial de las coberturas en el área de estudios.



Figura 16. Cobertura de bosque en el centro poblado Catarata.



Figura 17. Cobertura de vegetación secundaria.



Figura 18. Cobertura de vegetación secundaria.



Figura 19. Cobertura de áreas agrícolas con dron – plátano en crecimiento.



Figura 20. Cobertura de áreas agrícolas – plátano.



Figura 21. Cobertura de zonas urbanas.



Figura 22. Áreas urbanas y piscigranjas.



Figura 23. Cobertura de ríos.



Figura 24. Orilla del río.



Figura 25. Vuelo de drone, para tomar imágenes aéreas.



Figura 26. Áreas de bambú.



Figura 27. Cultivos de piña.



Figura 28. CCPP de San Martin Otari.