

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES



**ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DE LOS BOSQUES DE LA PROVINCIA
PUERTO INCA, REGIÓN HUÁNUCO PARA LOS AÑOS 2018 Y 2023**

Tesis

Para optar el título profesional de

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PRESENTADO POR:

VALDIVIA MARTIN, JEAMPIERRE RICHARD

Tingo María – Perú

2025

Jeampierre Richard
22/07/2025

[Handwritten signatures in blue ink]



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 118-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 23 de setiembre de 2025, a horas 5:00 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:

**“ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DE LOS BOSQUES DE LA PROVINCIA
PUERTO INCA, REGIÓN HUÁNUCO PARA LOS AÑOS 2018 Y 2023”**

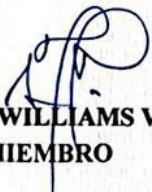
Presentado por el Bachiller: **VALDIVIA MARTIN, JEAMPIERRE RICHARD** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.


En consecuencia, el 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, 23 de octubre de 2025


Dra. YANÉ LEVI RUÍZ
PRESIDENTE


Ph. D. LUIS ALBERTO VALDIVIA ESPINOZA
MIEMBRO


Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO


Dr. RONALD HUGO PUERTA TUESTA
ASESOR


Ing. MSc. MOISÉS MARIO YAROS PARDO
ASESOR





UNAS

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 recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 353 - 2025 - 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% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-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
ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DE LOS BOSQUES DE LA PROVINCIA PUERTO INCA, REGIÓN HUÁNUCO PARA LOS AÑOS 2018 Y 2023	VALDIVIA MARTIN, JEAMPIERRE RICHARD	09 % Nueve	Menor a 20 %

Tingo María, 06 de noviembre de 2025.

 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



ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DE LOS BOSQUES DE LA PROVINCIA
PUERTO INCA, REGIÓN HUÁNUCO PARA LOS AÑOS 2018 Y 2023

Autor	: Valdivia Martin, Jeampierre Richard
Asesor (es)	: Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta Ing. MSc. Moisés Mario Yaros Pardo
Programa de investigación	: Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, recursos naturales, bienes y servicios ecosistémicos.
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	: Puerto Inca, Huánuco
Duración del trabajo	: 8 meses
Financiamiento	: S/ 1,325.00
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo María – Perú, 2024

DEDICATORIA

A Dios; por concederme la salud, sabiduría, fortaleza necesaria, así como por guiarme por el buen camino para culminar esta tesis de investigación.

Con mucho amor a mis queridos padres: William Richard VALDIVIA MARÍÑOS y Viana MARTIN PERE; quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional en cada momento de mi vida personal, espiritual y profesional.

A mi querido hermano: Jeremy Rooney VALDIVIA MARTIN; cuya presencia ha sido una inspiración constante y motivo fundamental en este recorrido.

A mi abuelita Beatriz MARÍÑOS SALINAS; por su apoyo incondicional y por estar presente cada instante de mi vida.

AGRADECIMIENTO

- A Dios Padre por su protección y la fortaleza física y mental que me brindó en mi vida cotidiana, al guiarme por el buen camino durante mi formación profesional.
- A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS); por brindarme la oportunidad de forjarme como profesional.
- A mis asesores: Dr. Ronald Hugo PUERTA TUESTA. Moisés Mario YAROS PARDO por brindar el soporte en la presente investigación.
- A los miembros de jurado de tesis: Dra. Yane LEVI RUIZ, Ph. D. Luis Alberto VALDIVIA ESPINOZA, M. Sc. Andy Williams VELA ZEVALLOS, M. Sc. Edilberto DIAZ QUINTANA; por los aportes brindados a la presente investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivo específico.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teorico	3
2.1.1. Bosque.....	3
2.1.2. Fragmentacion de los bosques.....	3
2.1.3. Deforestacion.....	5
2.1.4. Teledetección.....	7
2.1.5. Ecología del paisaje.....	9
2.1.6. Metricas del paisaje.....	11
2.2. Estado de arte	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Lugar de ejecución	15
3.1.1. Ubicación geográfica	15
3.1.2. Ubicación política	16
3.1.3. Características climáticas.....	16
3.1.4. Zona de vida	16
3.2. Material y métodos.....	16
3.2.1. Materiales y equipos	16
3.2.2. Metodología.....	17
3.3. Componente de estudio	22
3.3.1. Enfoque de investigación.....	22
3.3.2. Tipo de investigación.....	22
3.3.3. Diseño de investigación.....	22
3.3.4. Nivel de investigación	23
3.3.5. Población y muestra.....	23
3.3.6. Variable de estudio	24
3.3.7. Tecnicas e instrumentos de recoleccion de informacion y procesamiento de datos	24

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Cobertura boscosa y otros usos de la tierra de la provincia Puerto Inca para los años 2018 y 2023 utilizando información espacial de ESRI	27
4.2. Tasa de cambio de cobertura boscosa a no boscosa para los años 2018 y 2023 en la provincia de Puerto Inca.	30
4.3. Grado de fragmentación de los bosques de la provincia Puerto Inca a partir del uso.... de métricas del paisaje.....	33
V. CONCLUSIONES	38
VI. PROPUESTAS A FUTURO	39
VII. REFERENCIAS	40
ANEXO	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Insumos cartográficos y fuentes	17
2. Cobertura y/o uso de la tierra	18
3. Matriz de confusión para el proceso de validación	19
4. Coeficiente del Índice de Kappa.....	20
5. Variable de estudio	24
6. Superficie de cobertura y otros usos de la tierra de los años 2018 y 2023.....	26
7. Matriz de confusión para el manejo de coberturas boscosa y otros usos de la tierra del año 2023	30
8. Tasa de cambio de cobertura boscosa a no boscosa para un intervalo de 5 años	30
9. Fragmentación de bosques a partir del uso de métricas del paisaje del año 2023.....	33
10. Rango de fragmentación de cobertura boscosa para el año 2023.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Pérdida de bosque amazónico en la provincia de Puerto Inca (2012 – 2022).....	6
2. Ubicación política de la zona de estudio	15
3. Cobertura boscosa y otros usos del suelo en porcentaje (%) de los años 2018 y 2023.....	29
4. Cambios en %/año de la cobertura a no boscosa del 2018 al 2023.....	32
5. Mapa de cobertura y usos de la tierra con información espacial ESRI 2018	36
6. Mapa de cobertura y usos de la tierra con información espacial ESRI 2023	37
7. Mapa de la provincia de Puerto Inca, con imagen satelital Planet.....	45
8. Base de datos del GEO SERFOR	46
9. Base de datos del SERNANP	46
10. Base de datos de vías de la MTC	47
11. Sistema Planet con QGIS	47
12. Analisis del vecino mas cercano en QGIS	48
13. Entrada principal a la localidad ed Puerto Inca	49
14. Zona urbana de la localiad dePuerto Inca	49
15. Identificacion del rio Pachitea.....	50
16. Area de ganaderia en la localidad de Puerto Inca.....	50
17. Parcela de bolaina en la localidad de Puerto Inca	51
18. Areas deforestadas en la localidad de Tournavista	51

RESUMEN

El trabajo de investigación se llegó a realizar en el departamento Huánuco, provincia Puerto Inca, distritos tales como: Tournavista, Yuyapichis, codo de pozuzo, y Honoria. Donde el objetivo principal fue analizar la fragmentación de los bosques de la provincia de Puerto Inca, región Huánuco para los años 2018 y 2023, utilizando información espacial ESRI. Donde se aplicó la metodología bajo un enfoque cuantitativo, con un tipo de investigación aplicada, estudio descriptivo y un diseño de investigación no experimental, para ello se elaboró un mapa de cobertura y usos de tierra con cada zona de intervención. En los resultados muestra una mayor pérdida de cobertura Arborea de 35 181,42 ha y menor pérdida en suelos desnudos con 473,63 ha haciendo un 0,2% del 2018 al 2023, para ello se vio una tasa de cambio creciente en cultivos con 14.70% con 3 276,74 ha y decreciente -0,89% con 35 181,42 ha aprovechadas, para el grado de fragmentación se tomó en consideración solo en la parte Arborea con un área de 7 660 millones quinientos mil cien m² y un perímetro de 27 271,02 m obteniendo una alta continuidad de los fragmentos de cobertura boscosa con un FCI de 5,64 en un intervalo de 5 años, esto se debe también que las áreas de bosque remanente presentan formas altamente compactas y regulares, con poca fragmentación estructural, estos resultados tienen relación con la información que proporciona ESRI, ya que, dentro de la provincia de Puerto Inca, la cobertura que mayor predomina y más extensión tiene es la del bosque.

Palabras claves: Fragmentación, cobertura boscosa y usos de la tierra

ABSTRACT

The research work was carried out in the Huánuco department, Puerto Inca province, in districts such as Tournavista, Yuyapichis, Codo de Pozuzo, and Honoria. The main objective was to analyze forest fragmentation in the Puerto Inca province, Huánuco region, for the years 2018 and 2023, using ESRI spatial data. The methodology was applied under a quantitative approach, with an applied research type, a descriptive study, and a non-experimental research design. For this purpose, a land cover and use map was developed for each intervention zone. The results show a greater loss of tree cover of 35 181,42 ha and a lower loss in bare soils with 473,63 ha making 0,2% from 2018 to 2023, for this an increasing change rate was seen in crops with 14,70% with 3 276,74 ha and decreasing -0,89% with 35 181,42 ha used, for the degree of fragmentation it was taken into consideration only in the Arboreal part with an area of 7 660 million five hundred thousand one hundred m² and a perimeter of 27 271,020 m obtaining a continued high of forest cover fragments with an FCI of 5,64 in an interval of 5 years, this is also due to the fact that the remaining forest areas have highly compact and regular shapes, with little structural fragmentation, these results are related to the information provided by ESRI, since that, within the province of Puerto Inca, the most predominant and extensive cover is forest.

Keywords: Fragmentation, forest cover and land use

I. INTRODUCCIÓN

La deforestación y la degradación forestal avanzan rápidamente en el mundo, con la pérdida de 420 millones de hectáreas de bosques en las últimas cuatro décadas, según Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en su informe de 2020. Estas acciones, impulsadas por actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la industrialización y la expansión urbana, han generado impactos graves en la biodiversidad, el clima, el agua y las comunidades. Una de las consecuencias principales es la fragmentación de hábitats, lo que perjudica los ecosistemas y su equilibrio (León, 2019).

Madre de Dios, en la Amazonía peruana, es reconocida como la capital de la biodiversidad del Perú y una de las regiones más ricas del mundo en flora y fauna. Sin embargo, enfrenta una creciente amenaza por la acelerada pérdida de bosques. Según Aguirre et al. (2021), esta situación se debe principalmente a una gestión territorial deficiente, la concentración de tierras, la expansión agrícola y ganadera, y, de manera crítica, a la minería de oro artesanal e informal, que ha causado una grave degradación ambiental. En 2020, Perú alcanzó su nivel más alto de deforestación en 20 años, con más de 200 mil hectáreas de bosques perdidas. En la región de Huánuco, que en 2021 representaba el 2,21 % de los bosques amazónicos del país, la mayor cobertura forestal se concentraba en Puerto Inca, Leoncio Prado y Marañón. Según Suárez (2023) y el MINAM (2021), Huánuco logró reducir la pérdida de bosques en un 16,1 % respecto al 2020, pasando de 17 911 a 15 021 hectáreas. No obstante, Puerto Inca sigue siendo una de las cinco provincias con mayor deforestación, con 10 784 hectáreas afectadas.

La falta de información adecuada y actualizada sobre la deforestación, la minería y la ganadería en Puerto Inca dificulta la toma de decisiones informadas y la implementación de acciones efectivas para enfrentar estos problemas de forma sostenible. Por ello, es esencial mejorar la disponibilidad de datos y fomentar la transparencia en las actividades que impactan los recursos naturales, con el objetivo de asegurar su conservación y el bienestar de las comunidades locales en la región de Huánuco. En este contexto, con el objetivo de analizar la fragmentación de los bosques en la provincia de Puerto Inca entre los años 2018 y 2023, se llevó a cabo un estudio de la dinámica de la cobertura vegetal utilizando imágenes satelitales de alta resolución obtenidas de los sensores PlanetScope y Sentinel-2. Este análisis permite identificar las zonas boscosas que han experimentado cambios y cuantificar la pérdida de

cobertura forestal atribuida a actividades como la minería, la ganadería, la agricultura, así como a causas naturales. A partir de ello, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el grado de fragmentación de los bosques en la provincia de Puerto Inca, región Huánuco, durante los años 2018 y 2023?

Puerto Inca ha sido la provincia más deforestada del país entre 2001 y 2019, con más del 30 % de su territorio sin cobertura boscosa y una pérdida acumulada superior a 228 000 hectáreas (Suárez, 2023). Esta situación no solo implica una reducción de la superficie forestal, sino también una alteración en la estructura del paisaje, afectando la conectividad ecológica, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Por ello, resulta necesario analizar la fragmentación de los bosques, para comprender mejor los impactos espaciales de esta pérdida y generar información clave que contribuya a la conservación y gestión sostenible del territorio.

El estudio de la fragmentación forestal en la provincia de Puerto Inca (Huánuco), realizado para los años 2018 y 2023, analizó los cambios en la estructura del paisaje mediante indicadores como número de parches, bordes, áreas núcleo, conectividad y cobertura vegetal. Abarcó toda la provincia y sus cinco distritos, permitiendo identificar las zonas más fragmentadas, generar información geoespacial actualizada y aportar una base técnica para la planificación territorial y la conservación ambiental en la región.

Objetivo general

- Analizar la fragmentación de los bosques de la provincia de Puerto Inca, región Huánuco para los años 2018 y 2023.

Objetivos específicos

- Calcular la cobertura boscosa y otros usos de la tierra de la provincia Puerto Inca para los años 2018 y 2023 utilizando información espacial de ESRI.
- Estimar la tasa de cambio de cobertura boscosa a no boscosa para los años 2018 y 2023 en la provincia de Puerto Inca.
- Calcular el grado de fragmentación de los bosques de la provincia Puerto Inca a partir del uso de métricas del paisaje.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Bosque

Según la FAO (2012), estos terrenos superan las 0,5 hectáreas y tienen árboles de más de 5 m de altura. Árboles que tienen más del 10 % de cobertura de dosel, o que son capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra utilizada principalmente para fines agrícolas o urbanos. De manera similar, Convención de las Naciones Unidas contra la Corrupción (CNUCC, 2002) se refiere a un bosque como el área de tierra más pequeña entre 0,05 y 1 hectáreas, con una cubierta de dosel de árboles (de una población con densidad equivalente) que sobrepasa del 10 % al 30% y la altura superior alcanzan entre 2 y 5 metros cuando maduran in situ. Este es un ecosistema natural complejo compuesto por organismo, microorganismos, plantas y animales, que simultáneamente interactúan y se conectan entre sí, y están sujetos al entorno dominante de los árboles, el área supera las 0,5 hectáreas; y la altura de los árboles supera los 2 metros o puede llegar a alcanzar esta altura in situ, y con una cubierta mayor al 10%.

2.1.2. Fragmentación de los bosques

La fragmentación es un proceso dinámico mediante el cual un hábitat determinado se reduce a parches o islas de menor tamaño, más o menos conectados entre sí, dentro de una matriz compuesta por hábitats distintos al original. Este proceso implica la pérdida del paisaje original, un mayor aislamiento de los fragmentos remanentes, una reducción en su tamaño y un incremento en la proporción del hábitat de borde. Todas estas situaciones se transforman y son reflejadas a las modificaciones de las condiciones ambientales como es el caso del vientos, humedad o temperatura a consecuencia de las diferencias estructurales entre la zona vegetativa de los fragmentos y la matriz circundante. Como consecuencia, se producen alteraciones en la repartición de las especies, en situación de su tolerancia a los efectos de borde (Galván, 2015).

Las consecuencias de la fragmentación sobre la biota dependen de múltiples factores ecológicos y espaciales que determinan la severidad del impacto. Entre los más relevantes se encuentran:

- El tiempo de aislamiento del fragmento, ya que un mayor periodo de desconexión puede reducir drásticamente la viabilidad de poblaciones locales.
- La distancia hacia otros fragmentos, que influye en la posibilidad de flujo génico, dispersión y recolonización por parte de diversas especies.
- El tipo y grado de conexión entre fragmentos, dado que la existencia de corredores biológicos o zonas de transición puede mitigar los efectos del aislamiento.
- El tamaño del fragmento, ya que fragmentos más pequeños tienden a albergar menor diversidad de especies y a ser más vulnerables a eventos estocásticos.
- La forma del fragmento, que determina la proporción de borde respecto al área total, afectando las condiciones micro ambientales y el riesgo de exposición a factores externos.
- La posición del fragmento en el terreno, la cual puede influir en el acceso a recursos, en la conectividad con otros hábitats y en la exposición a amenazas externas como actividades humanas o fenómenos naturales.

Los procesos de conservación de un número cada vez mayor de ecosistemas silvestres y sus biotas dependen, en gran medida, de la capacidad para mantener pequeñas áreas relictuales, que persisten como fragmentos aislados del paisaje original. No obstante, la funcionalidad ecosistémica de estos fragmentos se encuentra considerablemente reducida en comparación con su estado previo a la fragmentación. Entre las funciones más afectadas se encuentran la regulación del ciclo hidrológico, el control de procesos erosivos y la provisión de servicios biológicos esenciales, como la polinización, la dispersión de semillas y el mantenimiento de la diversidad genética.

2.1.2.1. Causas de la fragmentación

Entre las principales causas de la fragmentación de bosques se encuentran. Expansión agrícola, donde es el avance de la frontera agrícola para la producción de cultivos y ganado ha sido uno de los principales factores de deforestación y fragmentación (Geist & Lambin, 2002). Infraestructura vial, describe la construcción de caminos y carreteras divide el paisaje y facilita la entrada a zonas antes inaccesibles (Forman & Alexander, 1998) y urbanización, donde la expansión urbana conlleva la pérdida y fragmentación de ecosistemas naturales para dar paso a asentamientos humanos (Seto et al., 2012).

2.1.2.2. Consecuencias ecológicas de la fragmentación

La fragmentación tiene múltiples efectos negativos sobre los ecosistemas forestales tales como la pérdida de biodiversidad, donde describe la reducción del hábitat disponible y el aislamiento de poblaciones pueden llevar a la extinción local de especies (Saunders et al., 1991). El efecto de borde, donde los bordes de los fragmentos presentan condiciones microclimáticas distintas, lo que puede favorecer especies oportunistas y afectar negativamente a las especies sensibles (Murcia, 1995) y la disminución de conectividad, donde menciona el aislamiento entre fragmentos dificulta el movimiento y la dispersión de especies, afectando procesos ecológicos como la polinización o la dispersión de semillas (Crooks & Sanjayan, 2006).

2.1.2.3. Métodos para estudiar la fragmentación

Para evaluar la fragmentación se utilizaron herramientas como el sistema de Información Geográfica (SIG), lo cual permiten analizar el cambio en el uso del suelo, calcular métricas de fragmentación y simular escenarios futuros (McGarigal & Marks, 1995). El índice de paisaje, se define como el índice de forma de fragmentos, índice de proximidad, o la densidad de bordes, utilizados para cuantificar el grado de fragmentación (Vogt et al., 2007).

2.1.3. Deforestación

Actualmente no existe una definición consensuada de deforestación, aunque comúnmente se debe a la asociación del uso los suelos, incluso cuando no hay un cambio en el uso del suelo, la intervención en el bosque mediante la extracción de madera puede generar alteraciones sustanciales en su composición y estructura, afectando su capacidad para absorber perturbaciones del entorno. Este fenómeno puede considerarse parte del proceso de deforestación y, por lo tanto, es válido clasificar estas superficies alteradas como áreas deforestadas. En un sentido más estricto, se puede hablar de deforestación cuando a un ecosistema forestal se le extrae un volumen de biomasa superior al que puede reponer mediante su crecimiento natural (Burga, 2016).

Durante los años 2012 al 2022, se ha observado alarmantemente una pérdida de 285 177 ha de bosque amazónico en el distrito de Puerto Inca, principalmente debido a actividades humanas como la agricultura, ganadería e industrialización. Estas actividades han provocado la transformación de paisajes naturales, lo que ha resultado en la fragmentación de hábitats y en la pérdida de zonas forestales en la región. Esta pérdida de bosque se orienta a una

gran amenaza para la biodiversidad y el equilibrio ecológico de la zona, destacando la necesidad urgente de implementar medidas de conservación y sostenibilidad para proteger este valioso ecosistema.

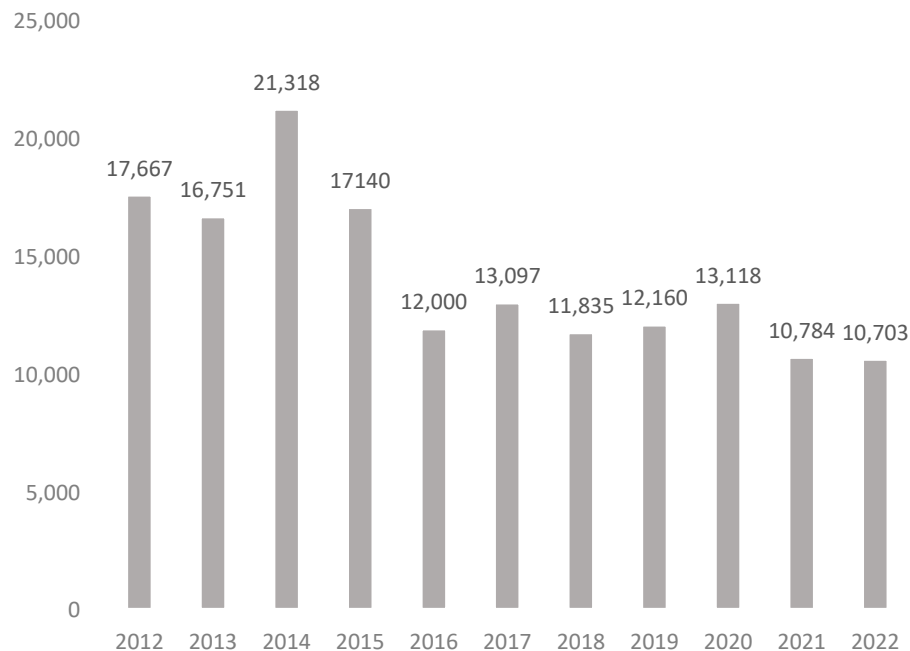


Figura 1. Perdida de bosque amazónico en la provincia de Puerto Inca (2012 – 2022)

2.1.3.1. Impacto de la deforestación

La deforestación constituye una de las principales actividades que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta práctica conlleva la pérdida significativa de biomasa arbórea, lo cual amenaza gravemente a la biodiversidad. No solo se trata de la desaparición de árboles individuales, sino también de la destrucción de hábitats esenciales para la vida silvestre y de la pérdida de servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques, como la regulación del clima, la purificación del aire y el agua, y la protección del suelo (MINAM, 2009).

No obstante, las consecuencias de la deforestación no se limitan al ámbito biofísico. También inciden de manera directa en el bienestar social. La degradación forestal afecta la disponibilidad y calidad del agua, la generación de energía, la seguridad alimentaria, la salud humana, la estabilidad climática y los medios de vida de comunidades que dependen directamente del bosque (Rautner et al., 2013).

2.1.3.2. Causas de deforestación

En muchos estudios sobre deforestación no se distinguen entre agentes y causas de dicha deforestación, culpándose y señalándose a los que actúan desde el punto de vista económico, comprensible dentro de un marco macroeconómico, político y social pero circunstancial. Existe una gran controversia en torno a quiénes son los responsables de la deforestación. Entre los principales agentes responsables de la pérdida y degradación de los ecosistemas forestales se destacan los especialistas de la madera, los motosierristas, las empresas petroleras y mineras, los ganadores, los agricultores, la agroindustria, los cultivadores de productos ilícitos, los promotores de proyectos de desarrollo, los gobiernos tanto centrales como locales, así como la expansión de la infraestructura vial, entre otros (Burga, 2016).

2.1.4. Teledetección

La percepción remota, también conocida como teledetección, es la ciencia y el arte de adquirir información sobre un objeto, área o fenómeno sin estar en contacto físico directo con él. Esta información se obtiene mediante el análisis de datos recopilados por sensores instalados en plataformas como satélites, aviones o drones (Lillesand et al., 2015).

El principio fundamental de la teledetección radica en el flujo de radiación electromagnética entre el sensor y la superficie terrestre. Esta radiación, compuesta por campos eléctricos y magnéticos que oscilan en forma de ondas, transporta energía desde un lugar a otro, permitiendo registrar características físicas y biofísicas de los objetos observados (Araya, 2013).

2.1.4.1. Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se definen como la propagación simultánea de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, generados por cargas en movimiento. Estas oscilaciones dan lugar a la emisión de fotones, que son las partículas elementales asociadas a la energía electromagnética (Von Martini, 2015).

Una característica fundamental de estas ondas es su naturaleza tridimensional, ya que se propagan en direcciones perpendiculares entre sí: el campo eléctrico, el campo magnético y la dirección de propagación. A diferencia de las ondas mecánicas, no requieren de un medio material para propagarse, lo que les permite viajar incluso en el vacío. Las ondas electromagnéticas se clasifican según su longitud de onda (λ) o su frecuencia (f). Existe una relación inversa entre ambas: a mayor frecuencia, menor longitud de onda, y

viceversa. La energía transportada por una onda electromagnética aumenta a medida que su longitud de onda disminuye, es decir, las ondas de longitud más corta transportan más energía. Además, la velocidad de propagación de estas ondas depende del medio en el que se transmiten, siendo máxima en el vacío (aproximadamente 3×10^8 m/s) (Von Martini, 2015).

2.1.4.2. Firmas espectrales

En el campo de la teledetección, una firma espectral es el patrón único de reflexión, absorción y emisión de energía electromagnética que presenta un objeto o material en función de la longitud de onda. Este patrón es registrado por sensores remotos y permite identificar diferentes tipos de superficies u objetos en la Tierra (Von Martini, 2015).

2.1.4.3. Sistema de información geográfica (SIG)

Es una herramienta tecnológica diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar, gestionar y presentar datos con referencia geográfica. Es decir, trabaja con información asociada a una ubicación específica en la superficie terrestre (García, 2021).

Los SIG permiten realizar diversas operaciones, tales como:

Lectura y edición de datos espaciales, Almacenamiento y gestión de bases de datos georreferenciadas, Análisis espacial de la distribución y relación entre elementos geográficos, Creación de productos cartográficos como mapas temáticos, gráficos e informes técnicos.

En esencia, un SIG integra una base de datos con componentes geoespaciales y herramientas analíticas, lo que permite a los usuarios visualizar, comprender e interpretar fenómenos espaciales, así como tomar decisiones informadas sobre la planificación territorial, gestión ambiental, desarrollo urbano, entre otros (García, 2021).

2.1.4.4. Sensores remotos

Un sensor remoto es un componente fundamental de los sistemas de detección remota, cuya función es detectar y registrar la radiación electromagnética reflejada o emitida por los objetos en la superficie terrestre, desde una cierta distancia, generalmente desde plataformas aéreas o satelitales (Lillesand et al., 2015).

Los sensores remotos pueden operar bajo dos modalidades:

- Sensores pasivos: detectan la radiación natural, principalmente la radiación solar reflejada por la superficie terrestre.
- Sensores activos: emiten su propia fuente de energía (como un radar o un láser) y registran la radiación reflejada por los objetos.

Los datos obtenidos por estos sensores pueden ser recopilados en formato analógico o digital, y su análisis suele complementarse con datos de campo, lo que mejora la precisión e interpretación de los resultados. Sin embargo, tanto la recolección como el procesamiento de estos datos pueden implicar altos costos y requerimientos técnicos (Lillesand et al., 2015).

2.1.4.5. Imágenes satelitales

Una imagen satelital es una representación digital del territorio capturada por sensores a bordo de satélites. Está compuesta por una matriz de píxeles organizados en filas y columnas, donde cada píxel representa una unidad mínima del terreno, correspondiente a un área geográfica indivisible (Chuvieco, 2011).

El tamaño del píxel, conocido como resolución espacial, varía en función del satélite y del sensor utilizado. Este valor determina el nivel de detalle que puede observarse en la imagen: a menor tamaño de píxel, mayor resolución y mayor precisión espacial. Cada píxel contiene un valor digital que refleja la cantidad promedio de energía electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre en una determinada longitud de onda. Estos valores dependen del tipo de cobertura o material presente en la superficie (vegetación, agua, suelo, etc.).

Los sensores satelitales capturan datos en distintas bandas del espectro electromagnético. Posteriormente, estos datos son procesados y transformados en imágenes multiespectrales o en color, donde cada color representa una combinación de valores energéticos asociados a distintos materiales. Así lo menciona; Canada Center For Remote Sensing (CCRS, 2012).

2.1.5. Ecología del paisaje

E.P. una ciencia interdisciplinaria en constante evolución (Troll, 2003). El concepto de "paisaje" abarca dos enfoques distintos que, tanto por su naturaleza como por sus aplicaciones, provienen de desarrollos científicos que han debido reafirmarse frente a la creciente especialización y fragmentación dentro de la investigación. Esto ha llevado a una

orientación hacia el tratamiento analítico de los procesos naturales tanto nuevos como ya establecidos, así como a la necesidad de integrar una visión sintética que permita comprender dichos procesos en su conjunto.

Los conceptos de ecología y paisaje están estrechamente vinculados al entorno humano, particularmente a la variada superficie terrestre que el ser humano debe utilizar de manera adecuada para actividades como la agricultura y la silvicultura, con el fin de obtener materias primas. Asimismo, este entorno es aprovechado para la minería y el uso de la energía hidráulica, que impulsan el desarrollo industrial. De este modo, el paisaje evoluciona desde su estado natural hacia un paisaje transformado económica y culturalmente (Troll, 2003).

La ecología del paisaje (EP) busca ofrecer un marco integrador mediante la aplicación sobre la definición de unificadores y momentos interdisciplinarios, así como la integración de tecnologías avanzadas para los estudios sobre ecosistemas, como el caso de los sensores remotos y los sistemas de información geográfica. En los últimos 40 años, la EP se ha consolidado como un campo científico interdisciplinario, orientado a comprender la compleja relación entre las sociedades humanas y los espacios que habitan. Este enfoque permite analizar los ecosistemas naturales y sus diversos grados de transformación antropogénica, cada vez más extendidos (Etter, 1991).

2.1.5.1. El paisaje en la ecología del paisaje

Los paisajes estudiados desde esta perspectiva pueden distinguirse fácilmente entre sí, principalmente por su geomorfología o por la estructura de su vegetación.

En el marco de la ecología del paisaje, el paisaje se concibe no solo como una representación visual o una descripción superficial del territorio, sino como una construcción interpretativa que permite comprender los procesos ecológicos que ocurren en un espacio determinado. Esta disciplina trasciende la mera observación descriptiva al integrar conceptos que explican cómo se desarrolla la vida en el territorio y cuáles son las interacciones entre los diversos elementos del medio, tanto bióticos como abióticos. De este modo, el paisaje se convierte en una unidad funcional y dinámica, en la que se reflejan las relaciones ecológicas, sociales y espaciales que modelan el entorno. Esta comprensión se aborda desde una perspectiva integradora, determinada por las características del territorio en estudio (Irastorza, 2006).

2.1.6. Métricas del paisaje

Las métricas o índices de paisaje son utilizados extensivamente para analizar en el fondo la configuración espacial y la diversidad composicional de los elementos que conforman un paisaje. Estas herramientas permiten cuantificar patrones espaciales, evaluar procesos ecológicos y monitorear cambios en el uso del suelo o la cobertura vegetal. El desarrollo y la aplicación de estas métricas han sido posibles gracias al avance de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y al uso de mapas temáticos generados a partir de imágenes satelitales de alta resolución (Newton et al., 2009).

Las métricas de área representan un atributo espacial fundamental de los parches del paisaje, y son analizable tanto al rango del parche o al sistema de suelo (como áreas urbanas, bosques, praderas, entre otros), como a nivel de todo el paisaje. Estas métricas no constituyen un fin en sí mismas, sino que cumplen una función de apoyo en el análisis de los cambios ecológicos, por lo que su selección debe hacerse cuidadosamente, en función del tipo de paisaje que se estudia. En la última década, han sido ampliamente utilizadas en investigaciones sobre deforestación, fragmentación del hábitat y las modificaciones de los paisajes (Peng et al., 2010).

2.1.7. Tasa de cambio en la fragmentación de bosques

En el contexto de la ecología del paisaje, la tasa de cambio de fragmentación se refiere a la velocidad con la que se modifica la estructura espacial de los bosques, es decir, cómo cambia el número, tamaño y forma de los fragmentos forestales en un periodo de tiempo determinado. Este concepto se puede medir utilizando imágenes satelitales y herramientas de análisis espacial (como SIG), aplicando métricas de paisaje para calcular cómo varía la cantidad y configuración de fragmentos de bosque (Riitters et al., 2000).

Se usa comúnmente para:

- Cuantificar la pérdida de conectividad ecológica.
- Estimar la velocidad de deforestación y degradación del hábitat.
- Evaluar la efectividad de medidas de conservación.

2.2. Estado del arte

Bonilla et al. (2021) desarrollaron un análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la Reserva Ecológica El Ángel y la Reserva Ecológica Arenillas, en Quito, Ecuador,

utilizando imágenes satelitales de Sentinel-2 y Landsat-8, junto con algoritmos de clasificación. El estudio determinó que el algoritmo de Máxima Similitud de Vecinos (MSV) fue el más preciso, con coeficientes Kappa de 0,9671 para Landsat-8 y 0,9483 para Sentinel-2, lo que demuestra una alta confiabilidad en la clasificación del uso del suelo. En la Reserva El Ángel, el análisis de las imágenes de 2016 y 2017 evidenció un aumento en las áreas de páramo herbáceo y de almohadilla, y una reducción en el páramo arbustivo y en zonas con frailejones. En la Reserva Arenillas, entre 2015 y 2019, se observó un incremento en la cobertura de bosque arbustal y bosque seco, acompañado de una disminución en suelo desnudo y áreas urbanas.

León et al. (2019) realizaron un análisis sobre la fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapesco, Costa Rica, revelando una marcada variabilidad en el uso del suelo. Aproximadamente el 46% del área está ocupada por pastizales y cultivos, lo que limita significativamente la conectividad entre los fragmentos de bosque. El estudio identificó dos zonas contrastantes en cuanto a fragmentación: la parte alta, que presenta una mayor conectividad forestal gracias a su cercanía con el Parque Nacional Juan Castro Blanco (PNJCB), y la parte baja, donde la intensa ocupación humana y la diversidad de usos del suelo han relegado los fragmentos de bosque principalmente a áreas cercanas a los ríos. Dentro del PNJCB se evidenció una correlación positiva entre la densidad de parches de bosque y la densidad de drenaje, mientras que en la parte baja, a pesar de haber más parches, la cobertura total es menor, acentuando la fragmentación. La cobertura boscosa se distribuye siguiendo la red hídrica, concentrándose en las zonas más elevadas del parque. Finalmente, el análisis de los cambios en el uso del suelo mostró un alto dinamismo, identificando áreas críticas que requieren intervención para mejorar la conectividad ecológica.

Dioses et al. (2023) llevaron a cabo una investigación sobre los tipos de cobertura vegetal presentes en el Área Natural Protegida “Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes”, ubicada en la región de Tumbes, Perú. En su estudio lograron identificar siete tipos de áreas dentro del santuario: dos sin cobertura vegetal (cuerpos de agua y zonas salitrosas) y cinco con vegetación, entre las que se incluyen bosque seco semidenso, bosque seco denso y tres zonas de manglar manglar bajo, manglar medio y manglar alto. Las áreas de manglar representan la mayor proporción del territorio protegido. En cuanto a la composición florística, en el ecosistema de manglar se identificó a *Rhizophora mangle* como la especie con el mayor índice de importancia. Por otro lado, en el bosque seco, *Caesalpinia paipai* fue la especie más representativa en términos de dominancia y frecuencia.

Gómez et al. (2021) evaluaron los cambios en la cobertura del bosque húmedo tropical en la subcuenca del río Yaracyacu, Amazonía peruana, durante el periodo 1989–2010. El estudio combinó imágenes satelitales Landsat TM, análisis de cobertura fraccional mediante el software CLASlite y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar la dinámica de pérdida y recuperación del bosque asociada a factores antrópicos y ecológicos. Los resultados evidenciaron una pérdida de 18,2 km² entre 1989 y 1995, seguida por una recuperación parcial a una tasa de 1,2 km² anuales (1995–2001). A partir de 2001, la deforestación se intensificó, alcanzando una pérdida total de 32 km², con una tasa anual promedio de -1,2 %, siendo la más alta entre 1989 y 1995 (-2,27 %). La proyección para 2030 estima que solo quedarán 89,1 km² de bosque en la subcuenca. La validación de los resultados obtuvo una fiabilidad global del 85 % y un índice Kappa de 0,65, lo que respalda la precisión del análisis. Este estudio proporciona información relevante para la planificación de estrategias de conservación y manejo sostenible del bosque amazónico.

Patrick (2023) desarrolló el estudio Modelo de simulación espacio-temporal del proceso de cambio de la cobertura vegetal y temperatura ambiental en el distrito de Daniel Alomía Robles, Huánuco, con el objetivo de analizar la dinámica de la cobertura vegetal y su relación con la temperatura ambiental. Mediante herramientas de teledetección y simulación espacio-temporal, se identificaron cambios significativos en la cobertura vegetal durante los años 2000, 2010 y 2020. La vegetación densa fue la categoría más afectada, presentando una pérdida progresiva y una tasa anual de cambio proyectada del -4,47 % hacia 2030. El modelo de clasificación para 2020 obtuvo un valor Kappa de 0,83, indicando una alta precisión. Además, se observó un gradiente térmico vertical negativo de -0,47 °C por cada 100 m de altitud, con temperaturas que oscilaron entre 18,71 °C y 28,35 °C, siendo más bajas en zonas con vegetación densa. Las ecuaciones obtenidas permitieron relacionar temperatura, tipo de cobertura vegetal y altitud, evidenciando el rol regulador de la vegetación en el microclima local.

Por su parte, Witting (2019) analizó el cambio en la cobertura y uso del suelo en el distrito de Codo de Pozuzo, Huánuco, a partir de imágenes satelitales. Se evidenció una drástica reducción de los bosques densos altos entre 1990 y 2016, con una pérdida de 93,692.27 hectáreas, así como 18,974 hectáreas de bosques densos bajos. Estas pérdidas estuvieron asociadas al avance de pastizales, los cuales aumentaron en 81,124.75 hectáreas durante el periodo. Las tasas anuales de deforestación fueron de -0,018 % para bosques densos altos y -

0,012 % para bosques densos bajos. La metodología empleada permitió una evaluación detallada de los cambios, lo que facilita la identificación de zonas prioritarias para acciones de conservación y gestión del territorio. Ambos estudios ofrecen evidencias claras de la pérdida de cobertura vegetal en la región de Huánuco, así como del impacto asociado en las condiciones ambientales, subrayando la urgencia de implementar estrategias de conservación adaptadas a las dinámicas territoriales locales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se llegó a realizar en la provincia Puerto Inca, que políticamente pertenece a la región Huánuco.

3.1.1. Ubicación geográfica

La provincia Puerto Inca se localizan en la parte nor este de la región Huánuco y colinda con las regiones de Ucayali por la zona este y con la región Pasco en la zona sur con coordenadas UTM: 503660.04 m E y 8964609.60 m N.

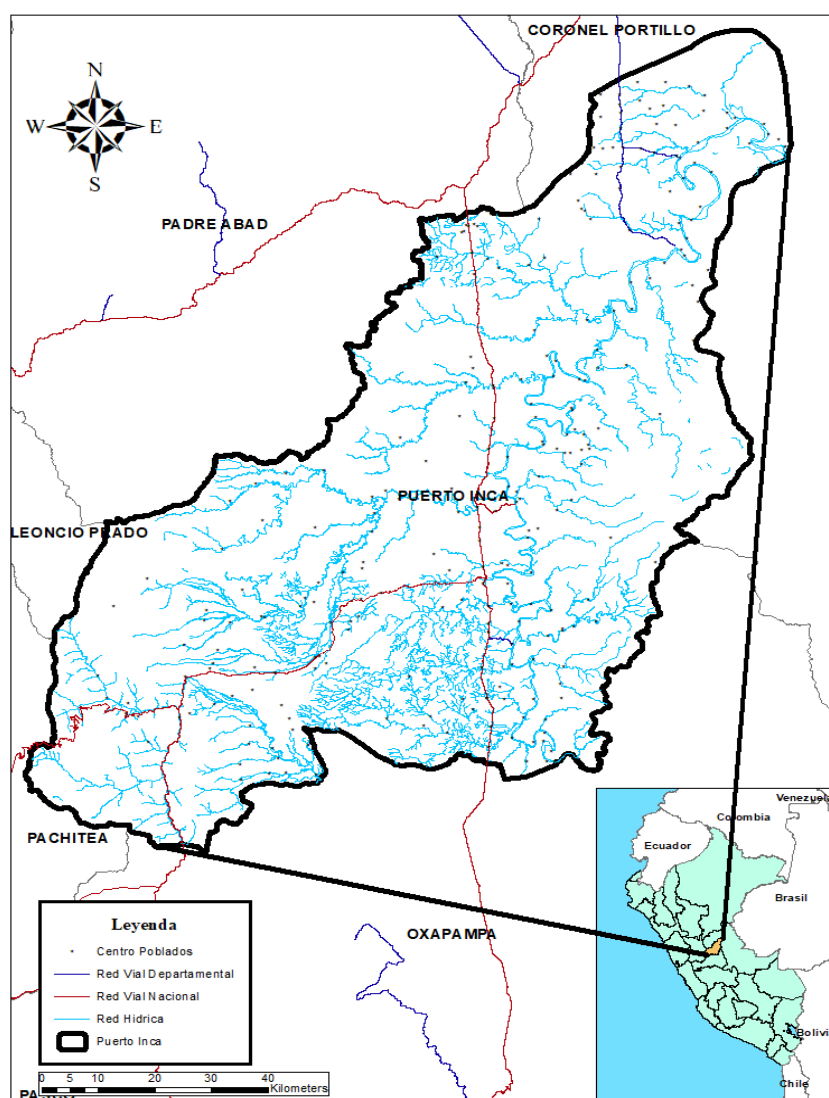


Figura 2. Ubicación política de la zona de estudio

3.1.2. Ubicación política

Región : Huánuco

Provincia : Puerto Inca

Distritos : Puerto Inca, Codo de Pozuzo, Tournavista, Yuyapichis y Honoria

Altitud : 212 m s. n. m.

3.1.3. Características climáticas

En el sector oriental de la provincia Puerto Inca, Leoncio Prado, Marañón los climas que predominan son los cálidos y templados, de muy lluviosos a lluviosos, presentando humedad durante todo el año, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2021). Además, el autor citado anteriormente nos indica que en los valles de la provincia de Puerto Inca y Huánuco se encuentra climas semisecos templados a cálidos, con humedad durante todo el año.

3.1.4. Zona de vida

Según el sistema de "Zonas de Vida" propuesto por Holdridge (1987) y representado en el Mapa Ecológico del Perú, en la provincia de Puerto Inca se distinguen diversas zonas de vida que reflejan la alta heterogeneidad ecológica de la región. Entre ellas se encuentran: el bosque húmedo Tropical (bh -T), el bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical (bmh-MBT), el bosque muy húmedo Pre-Montano Tropical (bmh-PMT), el bosque muy húmedo Tropical (bmh-T), el bosque pluvial Montano Bajo Tropical (bp-MBT), el bosque pluvial Montano Tropical (bp-MT) y el bosque pluvial Pre-Montano tropical (bp-PMT). Esta clasificación evidencia la complejidad del paisaje y la riqueza de ecosistemas presentes en Puerto Inca, lo cual representa un reto importante para la planificación territorial y la conservación de su biodiversidad.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

3.2.1.1. Materiales cartográficos

Los materiales cartográficos que se utilizó en dicha investigación se detallan a continuación:

Tabla 1. Insumos cartográficos y fuentes

Insumo Cartográfico	Tipo	Fuente
Límite departamental	Vector	IGN Perú
Límite provincial	Vector	IGN Perú
Red vial nacional	Vector	MTC
Hidrografía	Vector	ANA
Áreas de conservación regional (ACR)	Vector	SERNANP
Bosques de producción permanente (BPP)	Vector	GOREH
Imágenes PlanetScope	Ráster	PLANET

3.2.1.2. Equipos

El equipo que se utilizó en la fase de gabinete será una laptop LENOVO, en la cuales se descargarán imágenes satelitales y de las mismas, asimismo se utilizará un disco duro de 1 terabyte para el almacenamiento del mismo.

3.2.1.3. Softwares

En lo que respecta a los softwares, se usó el Microsoft Word para la redacción de la información recolectada de la provincia a investigar, Microsoft Excel para la digitación de los datos obtenidos por el programa Qgis 3.28.7, que este a su vez vendría a ser un programa de mucha ayuda para poder realizar la inscripción a Planet, mediante la instalación del plugin Planet Explorer.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Cálculo de la cobertura boscosa y otros usos de la tierra de la provincia Puerto Inca en los años 2018 y 2023 utilizando información geoespacial de ESRI

- Recolección de información

Para lo cual se descargó la información geoespacial de la cobertura y/o uso de la tierra a nivel global proporcionado por la empresa ESRI (Venter et al. 2022), la cual procede del procesamiento digital de imágenes Sentinel-2, que tiene una resolución espacial de 10 x 10 m.

Tabla 2. Cobertura y/o uso de la tierra

Nº	Cobertura y/o uso de la tierra
1	Bosque
2	Suelo desnudo
3	Cultivos
4	Ganadería
5	Hidrografía
6	Superficie construida

- Exactitud temática del mapa

Con la finalidad de establecer la exactitud temática de la información geoespacial proporcionada por ESRI, se realizó la validación de las coberturas y/o usos comparando con imágenes de alta resolución espacial Planet, acorde con el proceso para considera la exactitud temática de los planos sobre la deforestación (MINAM, 2014), se identificó las áreas de muestreos en la imagen satelital considerando el método aleatorio en la zona de estudio.

a. Matriz de confusión

Los datos obtenidos en la etapa de validación serán sistematizados mediante una matriz de confusión, la cual permitirá calcular métricas clave como la exactitud global y el índice de Kappa. En esta matriz, las filas representan las clases observadas en el trabajo de campo (datos de referencia), mientras que las columnas corresponden a las clases identificadas en la imagen satelital Planet.

La diagonal principal de la matriz indica las coincidencias entre las clases observadas y clasificadas, es decir, los aciertos. Por otro lado, los valores fuera de la diagonal representan los errores de clasificación. A partir de esta información, se calcularán la precisión del productor (por clase, con base en las filas) y la precisión del usuario (por clase, con base en las columnas), lo cual permite evaluar tanto la omisión como la comisión de errores en la clasificación.

Tabla 3. Matriz de confusión para el proceso de validación

Coberturas		Imagen Planet						
		Bosque	Suelo desnudo	Cultivos	Ganadería	Hidro.	Superficie construida	Total
Información Esri	Bosque							
	Suelo desnudo.							
	Cultivos							
	Ganadería							
	Hidrografía							
	Superficie construida							
	Total							

b. Índice de Kappa

Para evaluar la concordancia entre los datos clasificados y los datos de referencia, se utilizó el índice de Kappa, el cual permite medir el grado de acuerdo ajustado al azar. Este índice determina si la coincidencia entre las clases de interés es significativamente superior a la que se esperaría por una asignación aleatoria, lo que indica una clasificación confiable y estadísticamente válida.

Tabla 4: Coeficiente del Índice de Kappa

Coeficiente de Kappa	Fuerza de concordancia
<0,2	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,59	Moderada
0,61 – 0,79	Considerable
0,80 – 1,00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch (1977).

Para determinar la precisión del mapa temático, se utilizó el índice de Kappa, siguiendo la fórmula propuesta por el Ministerio del Ambiente del Perú

(MINAM, 2014). Este índice permite distinguir entre la precisión obtenida mediante la clasificación realizada y la precisión atribuible a una coincidencia por azar, utilizando como referencia imágenes de alta resolución. De este modo, el índice Kappa proporciona una medida más robusta del grado de concordancia entre el mapa clasificado y los datos de validación, ajustando el valor de exactitud en función del acuerdo aleatorio.

Ecuación 1. Índice de Kappa

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Donde:

Po: (Precisión observada): Representa la proporción de aciertos, es decir, la suma de las coincidencias correctas (valores de la diagonal principal de la matriz de confusión) dividida entre el total de observaciones n.

Pe: (Precisión esperada): Es la proporción de coincidencias que se esperarían por azar. Se calcula a partir de la matriz de confusión, multiplicando la proporción de elementos por fila (clasificación observada) y por columna (clasificación predicha) para cada clase y sumando los productos:

c. Elaboración de mapas

La elaboración de mapas se realizó en ArcGis 10.8 utilizando el Datum WGS 1984, en coordenadas UTM y la zona 18s.

3.2.2.2. Estimación de la tasa de cambio de cobertura boscosa a no boscosa para los años 2018 y 2023 en la provincia de Puerto Inca

Se calculó la tasa de cambio para analizar la dinámica del bosque durante el período 2018–2023, mediante el uso de matrices de transición de primer orden. Estas matrices permitieron identificar las pérdidas y ganancias de cobertura boscosa, así como los cambios en las demás clases de uso del suelo. El cálculo se realizó siguiendo la fórmula propuesta por la FAO (2002), la cual permite cuantificar el cambio porcentual anual de una categoría de cobertura en función de su extensión inicial y final.

Ecuación 3. Tasa de cambio

$$TC = \left\{ \left[\frac{S2^{\frac{1}{n}}}{S1} \right] - 1 \right\} \times 100$$

Donde:

Tc = tasa de cambio (en %)

S1 = superficie en la fecha inicial

S2 = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

2.2.2.3. Cálculo del grado de fragmentación de los bosques de la provincia Puerto Inca a partir del uso de métricas del paisaje

Para conocer cuan fragmentado se encuentran los bosques de la provincia de Puerto Inca se utilizó las siguientes métricas del paisaje:

- Índice de continuidad de Vogelmann (FCI)

$$FCI = \ln (\Sigma A / \Sigma P)$$

Donde:

ΣA : Representa el área total de los parches de bosque dentro del paisaje, expresada en metros cuadrados (m²). Este valor se obtiene sumando las áreas individuales de todos los fragmentos de bosque identificados en el análisis espacial.

ΣP : Corresponde al perímetro total de los parches de bosque en el paisaje, expresado en metros (m). Se calcula como la suma de los perímetros de cada uno de los fragmentos o parches de bosque.

Valores altos en los indicadores de área y continuidad espacial reflejan una mayor conectividad y cohesión del bosque, lo cual sugiere una menor fragmentación. Por el contrario, valores bajos indican una mayor fragmentación y discontinuidad entre los parches de bosque, lo que puede tener implicancias negativas para la biodiversidad, el flujo génico y la funcionalidad ecológica del paisaje.

- **Distancia media al fragmento vecino más cercano (MNN)**

En este procedimiento, se calculó el Índice de Proximidad Media (MNN) sumando la distancia entre cada fragmento de bosque y su vecino más cercano, y luego dividiendo el resultado por el número total de fragmentos presentes. Este indicador refleja la conectividad espacial de los parches en el paisaje. El valor del índice se aproxima a cero cuando todos los fragmentos están muy cercanos entre sí, lo que sugiere una alta conectividad. Por el contrario, el valor del índice aumenta ($MNN \geq 0$) a medida que los fragmentos se separan, indicando una mayor fragmentación y menor conectividad entre ellos.

- Grado de Fragmentación (F)

Para estimar la fragmentación total de la Provincia de Puerto Inca, se utilizó la relación entre la cobertura boscosa y el área total del territorio. Esta medida permite evaluar el grado de fragmentación del paisaje, considerando la proporción de área ocupada por los parches de bosque en relación con la extensión total del área de estudio. A mayor proporción de cobertura boscosa, menor será el grado de fragmentación, lo que sugiere un paisaje más continuo. Por el contrario, una baja proporción de cobertura boscosa refleja una mayor fragmentación y dispersión de los fragmentos forestales.

$$F = \text{Área de cobertura boscosa (ha)} / \text{Área total (ha)}$$

3.1. Componentes en estudio

3.1.1. Enfoque de investigación

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, conforme a Hernández et al. (2014), ya que se basa en la medición numérica de variables relacionadas con la fragmentación forestal tales como área de parches, número de fragmentos, tamaño medio, conectividad y en el análisis estadístico comparativo entre los años 2018 y 2023 para determinar tendencias de cambio y pérdida de bosque en la provincia de Puerto Inca.”

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación del presente estudio es aplicada, conforme a Tamayo (2004), porque el estudio busca aplicar conocimientos científicos (medir fragmentación, pérdidas de bosque, tendencias de cambio) para entender una realidad concreta y con implicaciones prácticas

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental, de tipo longitudinal y comparativo, ya que no se manipulan variables, sino que se observa y analiza el fenómeno de

la fragmentación de los bosques en su contexto natural, utilizando datos de imágenes satelitales y geoespaciales correspondientes a los años 2018 y 2023. Este diseño permite identificar los cambios espaciales y temporales en la cobertura boscosa de la provincia Puerto Inca, región Huánuco (Hernández et al., 2014).

3.1.4. Nivel de investigación

Según Hernández et al. (2018), el nivel de investigación de la presente tesis es descriptivo-comparativo, ya que tiene como finalidad describir las características de la fragmentación de los bosques en la provincia Puerto Inca para los años 2018 y 2023, y comparar su evolución en el tiempo, mediante el análisis de datos geoespaciales

3.1.5. Población y muestra

La población del estudio estuvo constituida por las distintas coberturas vegetales y/o usos del suelo presentes en la provincia de Puerto Inca. Estas áreas conforman el espacio geográfico de interés para llevar a cabo el análisis de la fragmentación forestal durante el periodo 2018-2023.”

La muestra vendría hacer el subconjunto representativo de los parches o fragmentos de cobertura vegetal y uso del suelo dentro de la provincia de Puerto Inca. Para poder determinar el tamaño referencial de la muestra y evaluar la eficiencia del algoritmo, se seleccionó una muestra de cada categoría en estudio. Este proceso se llevó a cabo utilizando la fórmula específica para poder hallar el tamaño de la muestra, de acuerdo con el protocolo establecido en el procedimiento (MINAM, 2014).

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{S^2 \times p \times q}{e^2}$$

Donde:

S: Valor de la abscisa de la curva normal estandarizada correspondiente a un nivel de confianza determinado; se obtiene a partir de la tabla Z de la distribución normal estándar.

p: Porcentaje de aciertos o proporción estimada de éxito, correspondiente al área de la clase o categoría evaluada.

q: Porcentaje de errores o proporción complementaria al éxito, calculado como $Q=1-pq$

e: Nivel de error permitido o margen de error aceptado en la estimación estadística.

Se utilizará acierto con un porcentaje 50%, con porcentaje de error de un 50% y un nivel permitido de error del 10%:

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{(1,96)^2 \times (0,5) \times (0,5)}{(10)^2} \quad (4)$$

De esta manera, se consideró 96 puntos en las distintas coberturas vegetales y/o usos de suelo distribuidos al azar en toda la provincia de Puerto Inca.

3.1.6. Variable de estudio

A continuación, se describe las variables en estudio sobre la fragmentación de bosques, con sus dimensiones e indicadores:

Tabla 5. Variable de estudio

Variable	Dimensiones	Indicadores
Cobertura boscosa	Espacial	Cambio de cobertura (ha/%)
	Exactitud	Kappa
	Temporal	Tasa de deforestación Cambio de cobertura (ha/año)
	Grado de fragmentación	Métricas

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Técnicas e instrumentos de recolección de información y procesamiento de datos

3.1.7.1. Técnicas de recolección de información y procesamiento de datos

El análisis de la fragmentación de los bosques requiere del uso de técnicas precisas que permitan identificar, cuantificar y comparar los cambios espaciales ocurridos en el paisaje a lo largo del tiempo. En este estudio, la recolección de información se fundamenta principalmente en el uso de imágenes satelitales y bases de datos geoespaciales provenientes de fuentes confiables y actualizadas. Estas herramientas permiten observar el estado de la cobertura boscosa en dos momentos clave: los años 2018 y 2023 (Hernández et al., 2014).

- Técnicas bibliográficas

Para el desarrollo de esta investigación, se aplicó diversas técnicas bibliográficas orientadas a la recolección, análisis y registro de información documental relevante. Entre ellas se incluye la búsqueda sistemática en bases de datos científicas, la revisión de literatura especializada sobre fragmentación de bosques y análisis espacial, así como el uso de fichas bibliográficas y de contenido para organizar la información recolectada.

- Técnicas de campo

En este caso se aplicó técnicas exclusivamente en datos secundarios, lo que no implica una disminución en la rigurosidad del análisis, ya que se emplearon imágenes satelitales de alta resolución y fuentes cartográficas confiables y para complementar el análisis geoespacial realizado en gabinete, se aplicaron técnicas de campo orientadas a la verificación de datos y observación directa del entorno.

- Técnica estadística

En esta investigación se utilizaron técnicas estadísticas de tipo descriptivo y comparativo, orientadas al análisis e interpretación de los datos obtenidos a partir del procesamiento de imágenes satelitales. Se aplicó dicha estadística para cuantificar las superficies boscosas, el número y tamaño de los fragmentos, así como otros indicadores relevantes para la evaluación de la fragmentación del paisaje. Posteriormente, se realizaron comparaciones temporales entre los años 2018 y 2023, utilizando tasas de cambio porcentual y gráficos ilustrativos que permitieron identificar patrones de pérdida, conservación o recuperación del bosque en la provincia Puerto Inca.

3.1.7.2. Instrumentos de recolección de información y procesamiento de datos

En la presente investigación, se utilizaron diversos instrumentos tecnológicos y digitales para la recolección y procesamiento de información espacial (Palomino et al., 2015).

- Instrumentos bibliográficos

Para este trabajo de investigación, se consideró apoyarse en una diversidad de instrumentos bibliográficos que proporcionen el marco teórico, metodológico y contextual adecuado. Entre los principales instrumentos bibliográficos que se utilizaron se encuentran los libros especializados, textos académicos, bases de datos y repositorios digitales.

- Instrumentos de campo

Aunque el análisis de la fragmentación de los bosques puede apoyarse principalmente en imágenes satelitales y herramientas de teledetección, el trabajo de campo es esencial para validar, complementar y contextualizar los datos obtenidos. Para esta tesis, se emplearon los instrumentos tales como, GPS portátil y cámara fotográfica.

- Instrumentos estadísticos

Para el análisis cuantitativo de la fragmentación de los bosques en la provincia de Puerto Inca entre los años 2018 y 2023, se emplearon software estadístico como el Excel, que permitieron procesar, interpretar y validar los datos obtenidos a partir de imágenes satelitales y trabajos de campo (Palomino et al., 2015).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cobertura boscosa y otros usos de la tierra de la provincia Puerto Inca para los años 2018 y 2023 utilizando información espacial de ESRI

En la región amazónica de la provincia de Puerto Inca, departamento Huánuco con una superficie total de 980 666,48 ha, de acuerdo con el análisis espacial obtenido, se ha calculado la cobertura boscosa y otros usos de la tierra de los años 2018 y 2023 dando los siguientes resultados:

En el 2018, el Bosque fue predominante en la zona, abarcando 801 231,43 ha, lo que represento el 81,70%, del total. Le siguieron las áreas destinadas tales como la ganadería con 14 588,78 ha, con 1,49 %, de la categoría de hidrografía con 3 326,05 ha, con 0,34 %, de cultivos con 2 619,50 ha, con un 0,27%, de superficie construida haciendo con 2 619,05 ha, con 0,27% y 2 423,98 ha, de suelos desnudos con un 0,25% del total del área; para el 2023 evaluado se observó una reducción del Bosque, que descendió a 766 500,10 ha, haciendo un 78,1%. En contraste, las áreas de ganadería aumentaron a 188 349,23 ha, con un 19,2%, las categorías restantes presentaron ligeras variaciones, 13 862,42 ha, de la categoría de hidrografía con 1,4%, 6 602,79 ha de cultivos con un 0,7%, 3 851,68 ha, de superficie construida haciendo un 0,4% y 1 950,35 ha de suelos desnudos con un 0,2% del total del área (**Tabla 6 y Figura 3**).

Tabla 6. Superficie de cobertura boscosa y otros usos de la tierra de los años 2018 y 2023.

COD. ESRI	Ctg.	Cobertura boscosa y otros usos de la tierra	2018		2023	
			Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
2	B	Bosque	801 231,43	81,70	766 500,10	78,12
8	SD	Suelo desnudo	2 423,98	0,25	1 950,35	0,20
5	C	Cultivos	3 326,05	0,34	6 602,79	0,67
11	G	Ganadería	156 476,74	15,96	188 349,23	19,21
1	H	Hidrografía	14 588,78	1,49	13 862,42	1,41
7	SC	Superficie construida	2 619,50	0,27	3 851,68	0,39
TOTAL			980 666,48	100,00	980 666,48	100,00

Fuente: Elaboración propia

La presente investigación evidencia las dificultades inherentes al monitoreo ambiental en contextos afectados por actividades antrópicas ilegales, como la minería informal en la provincia de Puerto Inca. Entre los años 2018 y 2023, la cobertura boscosa presento una

pérdida del 3,58 % de la superficie forestal. Este descenso se relaciona principalmente con la expansión agrícola y ganadera, la extracción selectiva de madera y el crecimiento de asentamientos humanos, factores que han provocado la conversión del bosque en áreas de uso agropecuario y la fragmentación del paisaje.

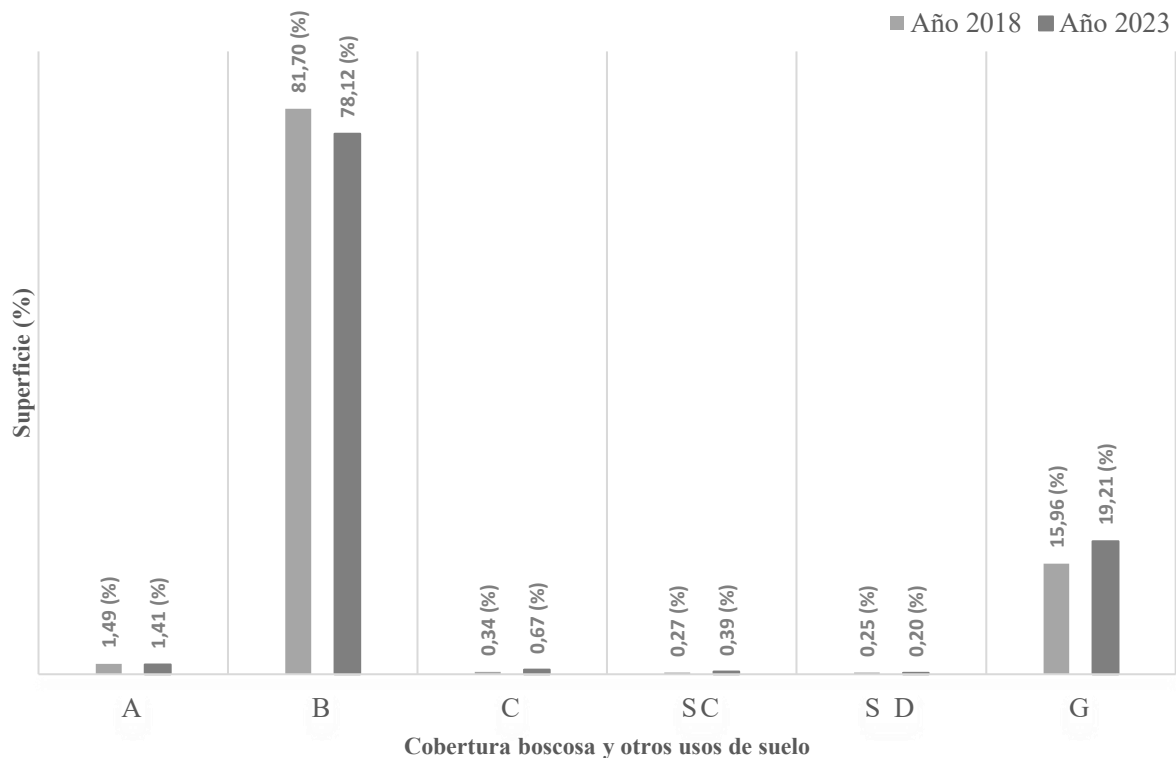
A pesar de la persistencia de esta actividad desde el año 2010, los productos cartográficos actualmente disponibles como los generados por el programa ESRI presentan una exactitud temática del 78%, lo cual limita considerablemente su capacidad para representar de forma precisa los usos del suelo. Esta deficiencia técnica no solo impide identificar la real extensión de las áreas impactadas por la minería, sino que también genera vacíos críticos de información para la formulación de políticas ambientales y la gestión territorial.

El análisis comparativo con el distrito de Codo de Pozuzo, basado en el estudio de Witting (2019), refuerza esta problemática al mostrar un patrón de transformación del paisaje vinculado a la expansión de actividades agrícolas, ganaderas y extractivas. Entre 1990 y 2016, este distrito experimentó una significativa pérdida de cobertura boscosa: 93 692,27 ha de bosques densos altos y 18,974 ha de bosques densos bajos, acompañadas de un notable incremento de 81 124,75 ha de pastizales. Estas cifras, aunque alarmantes, también revelan que los bosques densos aún ocupan una proporción relevante del territorio, lo que representa una oportunidad estratégica para la implementación de políticas de conservación, restauración ecológica y gestión sostenible del paisaje.

Ambos casos analizados ponen en evidencia un patrón regional de presión constante sobre los ecosistemas forestales, ejercida mayormente por actividades económicas informales o no reguladas. La expansión de la frontera agropecuaria y la minería ilegal son fuerzas transformadoras que modifican aceleradamente la cobertura vegetal, muchas veces sin control estatal efectivo ni evaluación de impactos ambientales. Este panorama requiere una mejora sustancial de las herramientas de monitoreo utilizadas.

Las limitaciones de los productos cartográficos actuales, como los de ESRI, deben ser superadas mediante la incorporación de tecnologías de teledetección más avanzadas, como sensores satelitales de alta resolución espacial y temporal, así como procesos de validación en campo. Estas mejoras permitirían una representación más fidedigna de los cambios en el uso del suelo y una detección temprana de las actividades ilegales, elementos clave para la toma de decisiones informadas y oportunas en materia de gestión territorial y conservación ambiental.

Finalmente, la articulación entre análisis espacial, monitoreo de cambios en la cobertura del suelo y acciones de intervención en campo debe ser parte de una estrategia integral que considere tanto las presiones actuales como las potencialidades ecológicas de cada territorio. La identificación de áreas críticas donde la cobertura forestal ha sido severamente afectada o está en riesgo debe guiar la priorización de esfuerzos de restauración, mientras que las zonas aún bien conservadas requieren mecanismos de protección efectivos que involucren a actores locales, instituciones gubernamentales y organizaciones ambientales.



A=Agua **B=Bosque** **C=Cultivos** **SC=Superficie construida** **SD=Suelo Desnudo** **G=Ganadería**

Figura 3. Cobertura boscosa y otros usos del suelo en porcentaje (%) de los años 2018 y 2023.

Con el objetivo de validar el mapa de cobertura y uso del suelo correspondiente al año 2023, se elaboró la Tabla 7, en la cual se estimó la cantidad de áreas de referencia con base en su superficie total. Los resultados obtenidos revelan una precisión global del 79,69% y un índice de Kappa de 0,76, lo que demuestra una concordancia significativa entre la clasificación generada y los puntos de control verificados en campo. Estos valores evidencian la solidez y confiabilidad del proceso de clasificación utilizado.

Tabla 7. Matriz de confusión para el manejo de coberturas boscosa y otros usos de la tierra del año 2023

Resultados de referencia										
Resultados de clasificación	Ctg.	A	C	G	SC	B	SD	Total Clasificados	Exactitud del Usuario	Error de Emisión
	H	96	0	0	0	0	0	96	100	0
	C	0	73	8	9	0	6	96	76,04	19,96
	G	0	4	82	6	3	1	96	85,42	10,58
	SC	0	4	11	52	1	28	96	54,17	41,83
	B	0	0	16	6	74	0	96	77,08	18,92
	SD	10	0	0	4	0	82	96	85,42	10,58
Total	106	81	117	77	78	117	576			
Exactitud del productor	90,57	90,12	70,09	67,53	94,87	70,09	Exactitud Global = 79,69 %			
Error de emisión	9,43	9,88	29,91	32,47	5,13	29,91	Índice de Kappa = 0,76			

4.2. Tasa de cambio de cobertura boscosa a no boscosa para los años 2018 y 2023 en la provincia de Puerto Inca

La siguiente **Tabla 8**, presenta los datos correspondientes a la tasa de cambio de la cobertura boscosa hacia no boscosa entre los años 2018 y 2023. En ella, se debe considerar que los valores negativos representan una disminución en la superficie, mientras que los valores positivos indican un incremento, expresados tanto en hectáreas como en porcentaje.

Tabla 8. Tasa de cambio de cobertura boscosa a no boscosa para un intervalo de 5 años

COD ESRI	Ctg.	Cobertura boscosa a no boscosa	2018 - 2023		N (Años)	TASA DE CAMBIO (%)
			S1 (ha)	S2 (ha)		
1	B	Bosque	801 231,43	766 500,01	5	-0,89
2	SD	Suelo desnudo	2 423,98	1 950,35		-4,25
5	C	Cultivos	3 326,05	6 602,79		14,70
7	G	Ganadería	156 476,74	188 349,23		3,78
8	H	Hydrografía	14 588,78	13 862,42		-1,02
11	SC	Superficie construida	2 619,50	3 851,68		8,02

Fuente: Elaboración propia

Se evidenció una reducción en la superficie ocupada por cuerpos de agua, la cual pasó de 14 588,78 hectáreas en 2018 a 13 862,42 hectáreas en 2023 (**Figura 4**). Esta disminución podría atribuirse a procesos de sedimentación, extracción de agua para riego y consumo humano, así como a los efectos del cambio climático, que ha mermado la disponibilidad hídrica en la región. Por otro lado, la cobertura forestal registró un descenso significativo, reduciéndose de 801 231,43 ha a 766 500,10 ha, lo que refleja una pérdida sustancial de 34 731,42 hectáreas de bosques en cinco años y una tasa de cambio de -0,89 % anual. Esto significa que, en promedio, cada año se perdió aproximadamente el 0,89 % del área forestal total, acumulando una pérdida global al 3,58 % en los cinco años. Este cambio está posiblemente asociado a la expansión de la frontera agrícola y ganadera, la tala ilegal y la conversión de áreas boscosas para otros usos, factores que comprometen la biodiversidad local.

En contraste, la superficie destinada a uso agrícola aumentó de 3 326,05 ha a 6 602,79 ha, lo que indica una intensificación de las actividades agrícolas en la provincia de Puerto Inca. Este crecimiento puede responder a incentivos económicos, a la demanda creciente de tierras cultivables y a la conversión de otras coberturas del suelo. Asimismo, el área urbana se incrementó de 2 619,50 ha a 3 851,68 ha, lo cual sugiere un proceso de expansión de la infraestructura y del desarrollo urbano, probablemente vinculado al crecimiento poblacional y al desarrollo de nuevos centros poblados. Finalmente, se observó una disminución en la superficie de suelo desnudo, que pasó de 2 423,98 ha a 1 950,35 ha, lo cual podría estar relacionado con procesos de recuperación vegetal o cambios en el uso del suelo.

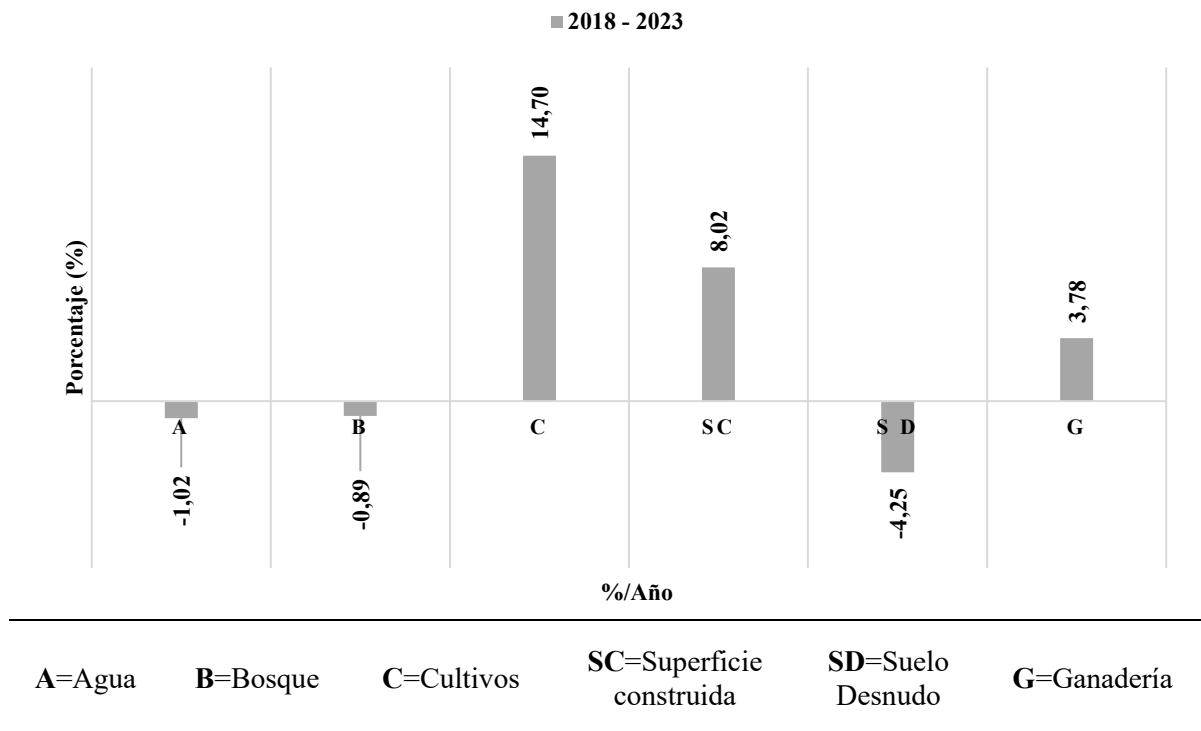


Figura 4. Cambio en %/año de la cobertura boscosa a no boscosa del 2018 al 2023.

Este cambio podría deberse a procesos naturales de revegetación, reforestación o la transformación de estas áreas en terrenos agrícolas o urbanizados. La superficie destinada a pastizales para ganadería aumentó de 156 476,74 ha a 188 349,23 ha. Esto indica una expansión de la actividad pecuaria, posiblemente impulsada por la demanda de productos ganaderos y el uso de nuevas áreas para pastoreo. De tal manera, Gómez et al. (2021), Se llevó a cabo un estudio de evaluación del bosque húmedo tropical mediante el análisis de la cobertura fraccional y el uso de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la subcuenca del río Yaracyacu, ubicada en la Amazonía peruana.

El análisis abarcó el período comprendido entre 1989 y 2010, utilizando seis imágenes satelitales del sensor Landsat Thematic Mapper (TM). Para la estimación de la cobertura fraccional se empleó el software especializado CLASlite, lo que permitió detectar cambios sutiles en la cobertura forestal. Durante el subperíodo 1989 - 1995, se observó una pérdida de 18,2 km² de cobertura boscosa, evidenciando un proceso significativo de deforestación en esa etapa del análisis. Sin embargo, entre 1995 y 2001 se recuperó parte de esta pérdida a una tasa de 1,2 km² por año. A partir de 2001, se documentaron retrocesos progresivos en el bosque húmedo tropical, con pérdidas de 8,9 km², 3,4 km² y 7,5 km² para los periodos 2001-2006, 2006-2008 y 2008-2010 respectivamente.

4.3. Grado de fragmentación de los bosques de la provincia Puerto Inca a partir del uso de métricas del paisaje.

En la (Tabla 9) muestra la fragmentación de bosques a partir del uso de métricas del paisaje y la superficie total de parches a través del área y su perímetro perteneciente al año 2023.

Tabla 9. Fragmentación de bosques a partir del uso de métricas del paisaje del año 2023

Gridcode	Nombre	Área (m ²)	Perímetro (m)
2	Bosque	7 660 500 100,00	27 271 020,00
5	Cultivos	66 027 900,00	1 430 420,00
11	Ganadería	1 883 492 300,00	25 241 200,00
7	Superficie construida	38 516 800,00	974 100,00
1	Hidrografía	138 624 200,00	2 768 080,00
8	Suelo desnudo	19 503 500,00	620 240,00
Superficie total de parches		7 660 500 100,00	27 271 020,00

$$FCI = (\text{área boscosa} / \text{perímetro boscoso}) = 5,64$$

Cabe recalcar que el grado de fragmentación se refiere a la situación actual de un bosque, describiendo cuántos fragmentos de bosque existen y su tamaño, forma y aislamiento. La tasa de fragmentación describe la velocidad a la que este proceso ocurre a lo largo del tiempo, es decir, qué tan rápido un bosque continuo se divide en fragmentos más pequeños.

Tabla 10. Rango de fragmentación de cobertura boscosa para el año 2023

Valor FCI	Interpretación
> 1,5	Alta continuidad
1,0 – 1,5	Continuidad media
0,5 – 1,0	Baja continuidad
< 0,5	Muy baja continuidad

El valor obtenido (Tabla 10) mediante el Índice de Continuidad de Volgemann (FCI), el cual alcanzó un valor de 5,64. Este resultado indica una alta continuidad en los fragmentos de cobertura boscosa dentro de la provincia de Puerto Inca, ubicada en el departamento de Huánuco. Este valor sugiere que las áreas de bosque remanente mantienen formas compactas y regulares, lo que evidencia un bajo nivel de fragmentación estructural. Este

hallazgo coincide con los datos proporcionados por la plataforma ESRI, que identifica al bosque como la cobertura dominante en términos de extensión dentro de esta provincia. Una alta continuidad en la cobertura forestal implica que los fragmentos conservan configuraciones ecológicamente eficientes, caracterizadas por una menor proporción de bordes en relación con su superficie total. Esto reduce la vulnerabilidad frente a factores externos como la degradación ambiental, la erosión o la entrada de especies invasoras. Asimismo, una estructura continua favorece la conectividad ecológica, al permitir el desplazamiento de especies de fauna y flora entre parches, aspecto crucial para la conservación de la biodiversidad.

El valor del FCI también sugiere que, pese a las presiones derivadas del cambio de uso del suelo como la expansión agrícola, ganadera o urbana, los fragmentos de bosque existentes no han sufrido una transformación significativa en su morfología, evitando la adopción de formas alargadas o irregulares, y conservando así su integridad estructural.

Por otro lado, el análisis del índice de Proximidad Media (MNN) evidenció que la distancia media observada entre fragmentos (736 m) fue menor a la distancia esperada al azar (1043 m), obteniéndose un índice de 0,70 y un puntaje Z de -38,97. Estos valores indican que los fragmentos de cobertura en Puerto Inca presentan un patrón de agrupamiento altamente significativo, lo que refleja una mayor conectividad espacial y una menor dispersión, asociada probablemente a la concentración de actividades humanas y accesibilidad cercana a carreteras, ríos y centros poblados.

En este contexto, el índice de fragmentación obtenido para la Provincia de Puerto Inca fue $F = 0,78$, lo que significa que aproximadamente el 78 % del territorio conserva cobertura boscosa. Este valor refleja un bajo nivel de fragmentación, indicando que el paisaje forestal se mantiene en su mayoría continuo, con parches grandes y conectados. Sin embargo, el 22 % restante corresponde a áreas destinadas a actividades agrícolas, ganaderas, infraestructura y otros usos, lo que evidencia presiones antrópicas que podrían incrementar la fragmentación en el futuro si no se gestionan adecuadamente.

Por otro lado, las métricas de área representan una dimensión espacial fundamental para el análisis de los parches que conforman un paisaje. Estas métricas pueden aplicarse tanto a nivel de clases de cobertura o uso del suelo (por ejemplo, bosque, áreas urbanas o praderas), como al nivel del paisaje completo. Es importante destacar que las métricas de paisaje no deben considerarse un fin en sí mismas, sino herramientas que facilitan la comprensión de los cambios

ecológicos, estructurales y funcionales del territorio. Por ello, resulta esencial seleccionar cuidadosamente las métricas más apropiadas, en función de las particularidades del paisaje en estudio y de los objetivos específicos de la investigación. En los últimos años, estas métricas han sido ampliamente utilizadas en estudios sobre deforestación, fragmentación del hábitat y transformación del paisaje (Peng et al., 2010).

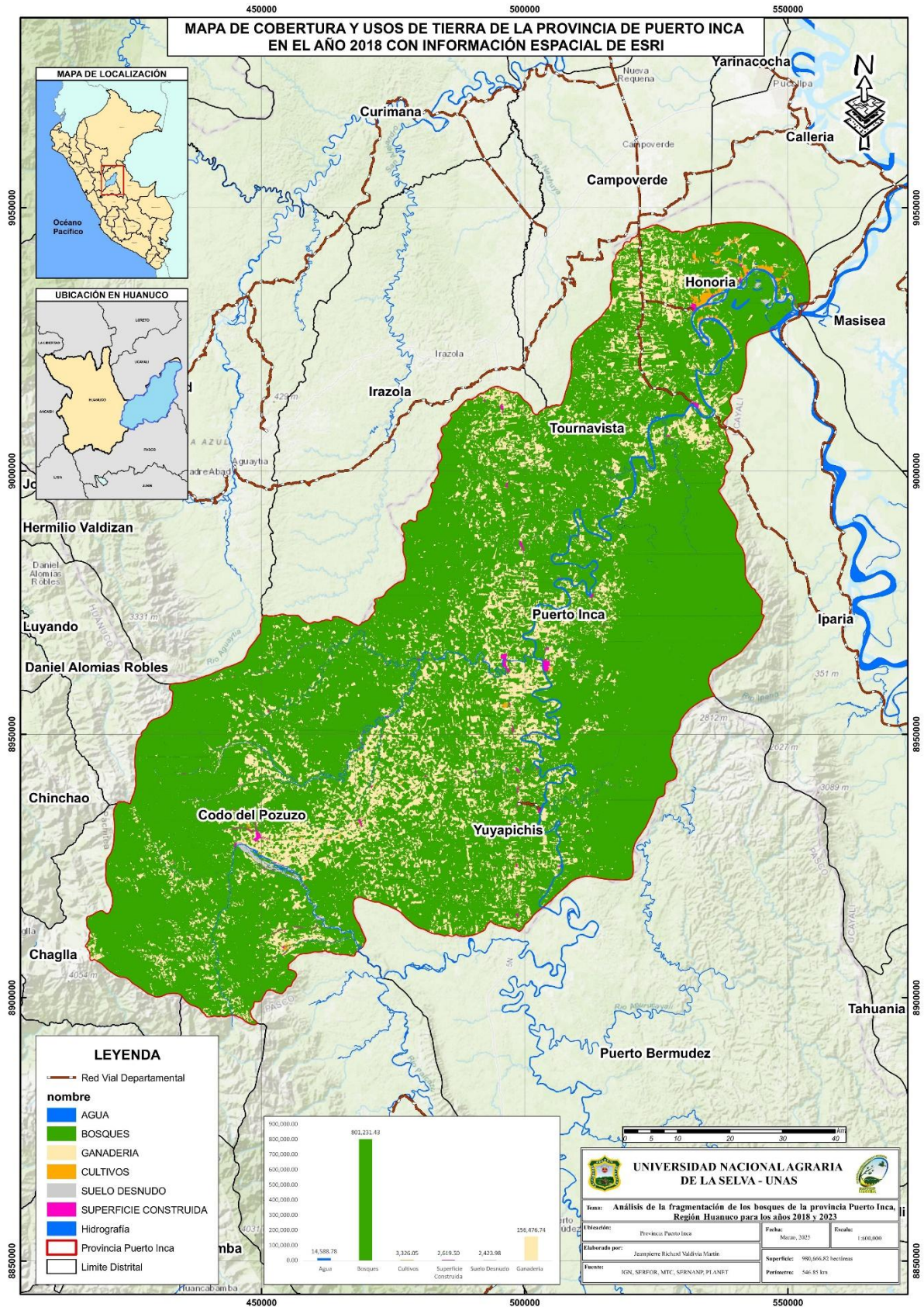


Figura 5. Mapa de cobertura y usos de la tierra con información espacial ESRI 2018

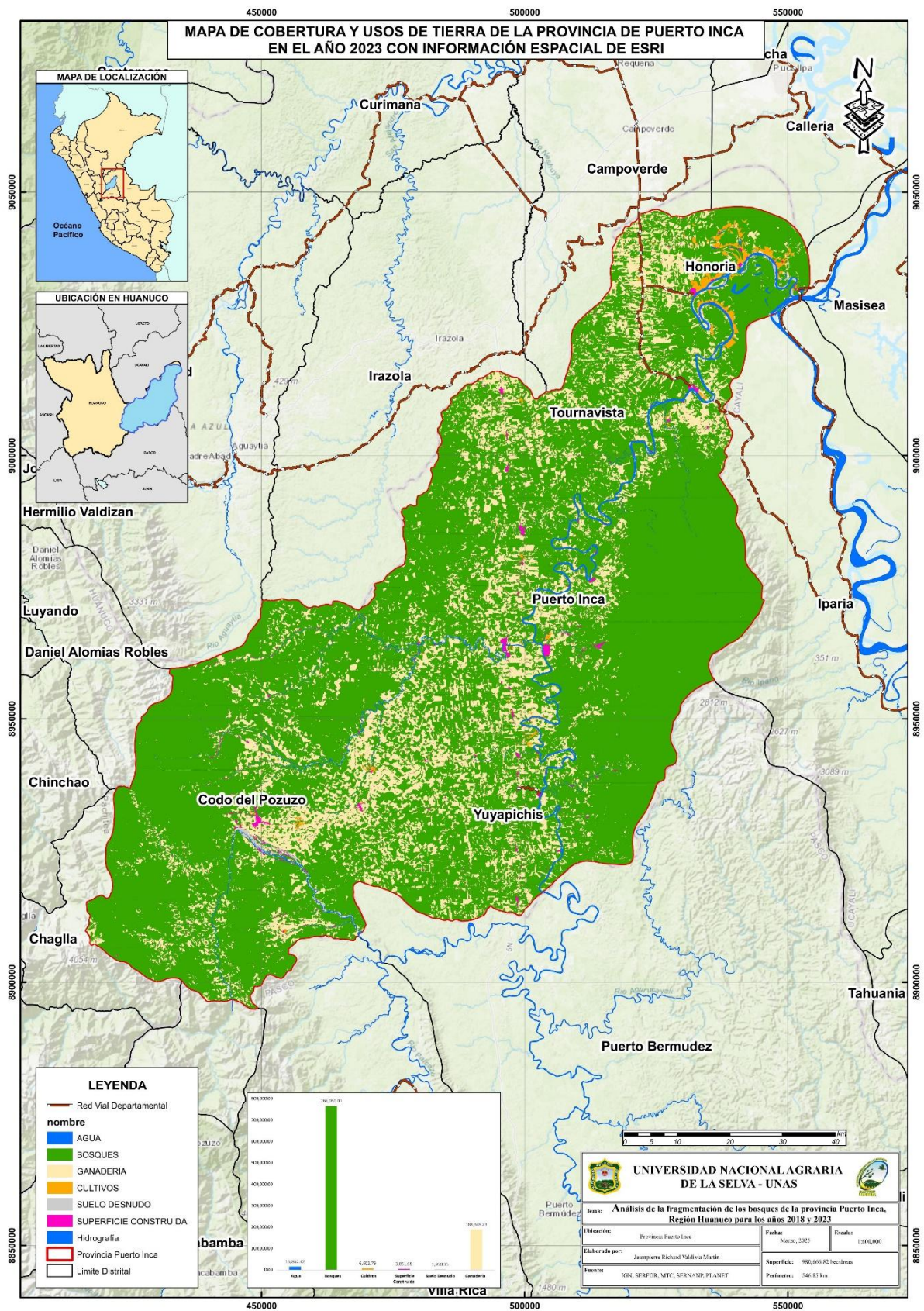


Figura 6. Mapa de cobertura y usos de la tierra con información espacial ESRI 2023

V. CONCLUSIONES

- La cobertura boscosa y otros usos de la tierra en la provincia de Puerto Inca sufrió variaciones en los años 2018 y 2023 utilizando información espacial ESRI; en tal sentido, el 81,70% al 78,1% es pérdida de árboles teniendo 34 731,33 ha deforestadas a comparación del agua, cultivos, superficie construida, suelo desnudo y ganadería.
- La tasa de cambio de cobertura boscosa a no boscosa para los años 2018 y 2023 se reduce en -0,89% en árboles y experimenta un aumento de 14,70% en cultivos a comparación del agua, suelo desnudo, ganadería y superficies construidas en un intervalo de 5 años.
- El grado de fragmentación de los bosques de la Provincia de Puerto Inca presenta un alto grado de continuidad y conectividad, calculado mediante métricas del paisaje, el FCI con 5,64 indica que los fragmentos son compactos y regulares, mientras que el MNN muestra que los parches están cercas entre sí y conectados. Asimismo, el índice de fragmentación con 78 % confirma que gran parte del territorio mantiene cobertura boscosa y, en consecuencia, presenta un bajo nivel de fragmentación.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar monitoreo sobre los bosques y otros usos de tierra utilizando imágenes con mayores resoluciones espaciales para poder visualizar su aprovechamiento y su repoblamiento.
- Realizar propuestas a futuro de reforestación para tener un aprovechamiento sostenible en los bosques de Puerto Inca.
- Identificar otros sistemas de uso con mayor detalle utilizando programas con mayor exactitud temática para poder realizar comparaciones con la realidad.
- Complementar el análisis de cobertura con imágenes satelitales de mayor resolución espacial, tecnologías de radar e implementación de drones, aplicando metodologías de clasificación avanzada y análisis multitemporal, para optimizar la detección y el monitoreo de la minería aurífera.
- Transformar la minería en Puerto Inca en una actividad formal, sostenible y controlada, que contribuya al desarrollo económico sin dañar el medio ambiente ni vulnerar los derechos de las comunidades.

VII. REFERENCIAS

- Aguirre, G. A., Robles, R. R. C., Duarez, F. M. G., Achata, L. R., Chacón, L. E. G., & Garate-Quispe, J. (2021). Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonía peruana: un estudio de caso en Madre de Dios. *Ecosistemas*, 30(2), 2175. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2175>
- Araya, J. M. (2013). *Proyecto Microcuenca Plantón, Pacayas. Manual de procesos en fotografías aéreas e imágenes de satélite*. Actualidades Biológicas.
- Bonilla Vilatuña, D. M., & Taipe Quispe, J. M. (2021). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal a partir de la imagen satelital Sentinel-2 y Landsat-8 mediante el uso de algoritmos de clasificación, en la Reserva Ecológica El Ángel y Reserva Ecológica Arenillas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Loja
- Crooks, K. R., & Sanjayan, M. (2006). *Connectivity conservation*. Cambridge University Press.
- CCRS – Canada Center for Remote Sensing. (2002). *Remote sensing tutorial*. <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/tutorial/tutore.html>
- Chuvieco, E. (2002). *Fundamentos de teledetección espacial*. Universidad de Alcalá, Digital Reasons.
- Dioses-Puelles, J., García-García, R., yaaa Bermejo-Requena, L. A. (2023). Tipos de cobertura vegetal del Área Natural Protegida “Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes”, Tumbes, Perú. *Manglar*, 20(2), 177–183.
- Etter, A. (1991). Introducción a la ecología del paisaje: *Un marco de integración para los levantamientos ecológicos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia.
- FAO y PNUMA (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020: Los bosques, la biodiversidad y las personas*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Forman, R. T. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207–231.

- García, P. (2021). ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? *Geoinnova*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-osistema-de-informacion-geografica>
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150.
- Gómez-Lora, J. W., Gallo-Ramos, V. H., & Camacho-Zorogastúa, K. D. C. (2021). Evaluación del bosque húmedo tropical mediante el análisis de la cobertura fraccional y técnicas SIG en la subcuenca del río Yuracyacu, Amazonía peruana. *Madera y Bosques*, 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722271>
- Hernández, L., Álvarez-Martínez, J. M., Gómez Almaraz, C., Sánchez de Dios, R., Jiménez Alfaro, B., & Álvarez-Taboada, F. (2022, diciembre 28). Seguimiento de la biodiversidad en la era del Big Data. *Ecosistemas*. Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET). <https://doi.org/10.7818/ecos.2450>
- Holdridge, R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (3.^a ed.). Servicio Editorial IICA.
- Irastorza Vaca, P. (2006). *Integración de la ecología del paisaje en la planificación territorial: Aplicación a la comunidad de Madrid* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid).
- León-Alfaro, Y. (2019). Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: conectando el bosque para proteger el agua. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 102–120. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.74857>
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). Wiley.
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. USDA Forest Service.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). *Mapa de deforestación de la Amazonía Peruana – 2009*. PROCLIM - Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para manejar el impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire. <http://biam.minam.gob.pe/novedades/mapadeforestacionamazonia2000.pdf>

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *Protocolo: Evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación* (1.^a ed., pp. 13–32). Dirección General de Ordenamiento Territorial, Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2021). *Cobertura y pérdida de bosque húmedo amazónico*. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC).
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(2), 58–62.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020: Los bosques, la biodiversidad y las personas*.
- Persaud, H., & Milián Cabrera, I. D. L. C. (2021). Eficiencia de las imágenes de radar para el monitoreo a tiempo casi real de bosques tropicales en Guyana. *Arnaldoa*, 28(3), 577–592.
- Rautner, M., Leggett, M., & Davis, F. (2013). *El pequeño libro de las grandes causas de la deforestación*. Programa Global Canopy. https://forest500.org/sites/default/files/the_little_book_of_big_deforestation_drivers_-_spanish.pdf
- Saunders, D. A., Hobbs, R. J., & Margules, C. R. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology*, 5(1), 18–32.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2021). *Climas del Perú. Mapa de clasificación climática nacional* (1.^a ed.). Red Activa Soluciones Gráficas S.A.C.
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088.
- Suarez Quiñonez, L. C. (2023). *Tráfico de madera: desgracia geosocial en Suramérica*.
- Troll, C. (2003). Ecología del paisaje. *Gaceta Ecológica*, (68), 71–84.
- Von Martini, A. (2015). *Proyecto Agricultura de Precisión*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-intapercepcion-remota.pdf>

Vogt, P., et al. (2007). Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecology*, 22(2), 171–177.

Witting Calderón, N. J. (2019). *Cambio de cobertura y uso del suelo en diferentes períodos a partir del uso de imágenes satelitales en el distrito de Codo del Pozuzo, Huánuco.*

ANEXO

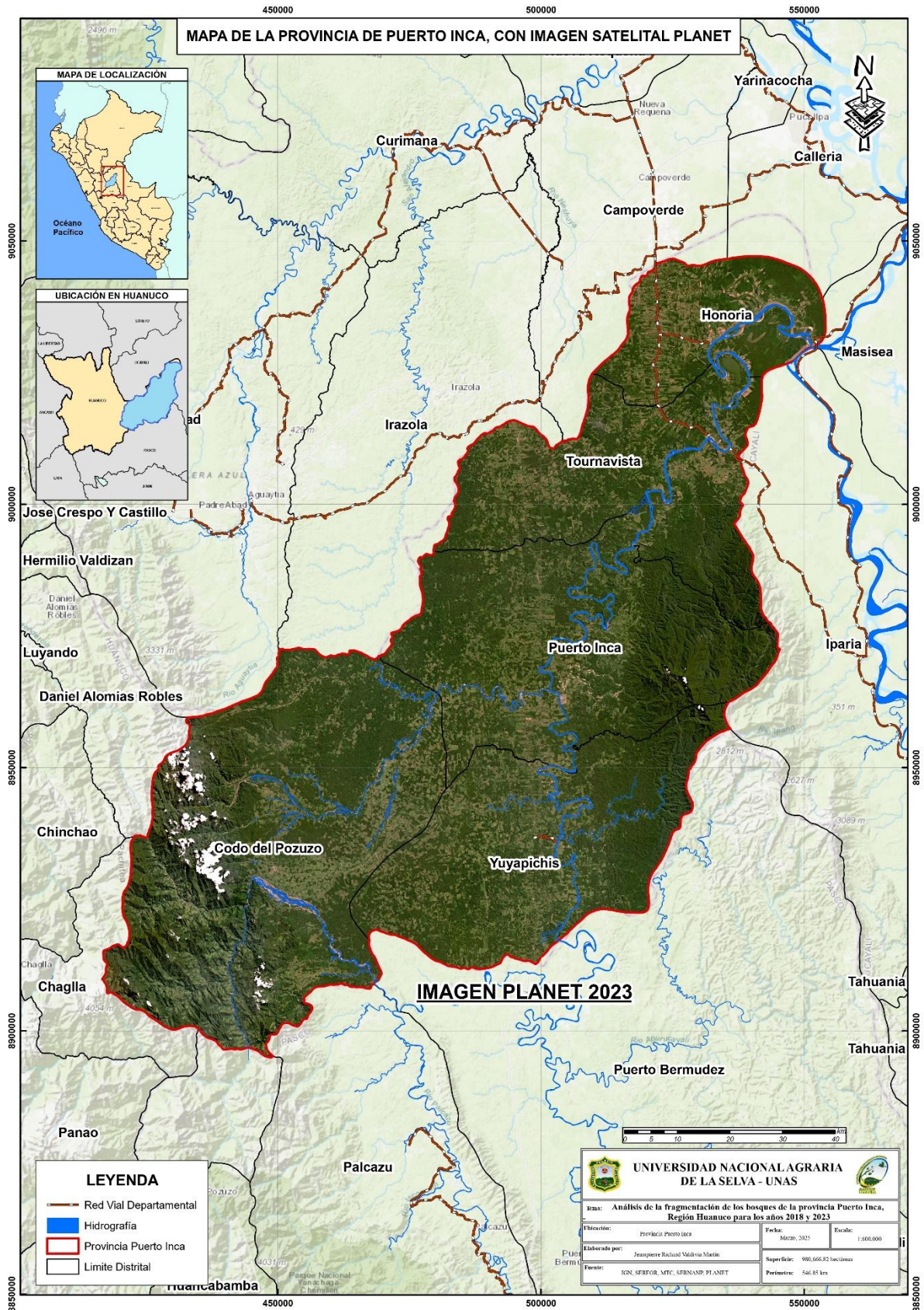


Figura 7. Mapa de la provincia de Puerto Inca, con imagen satelital planet

Anexo 1. Descargas de base de datos

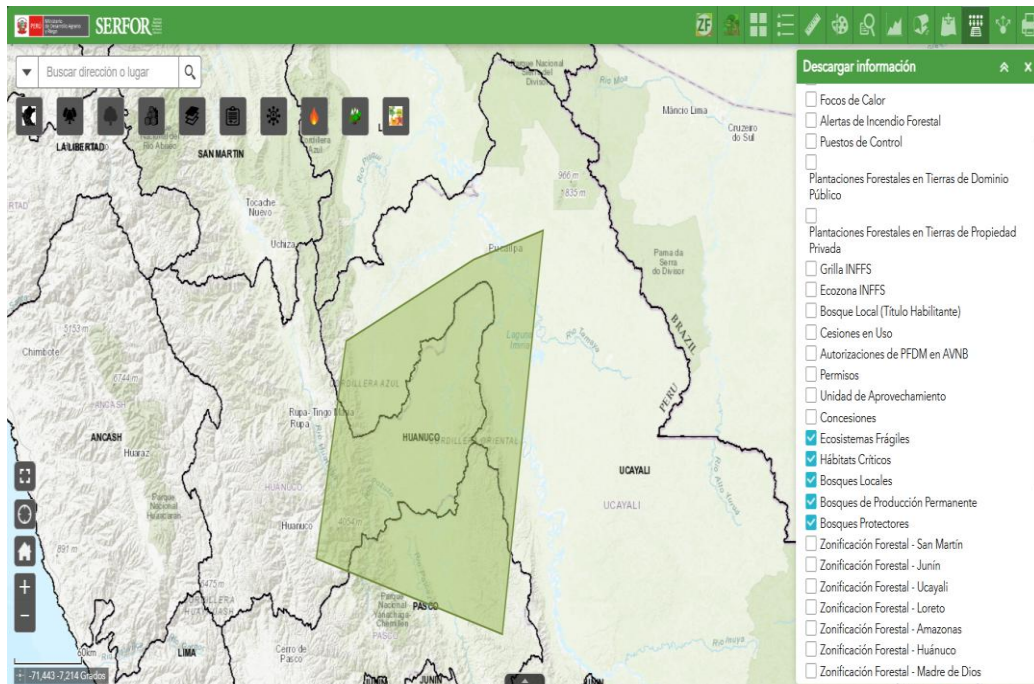


Figura 8. Base de datos del GEO SERFOR

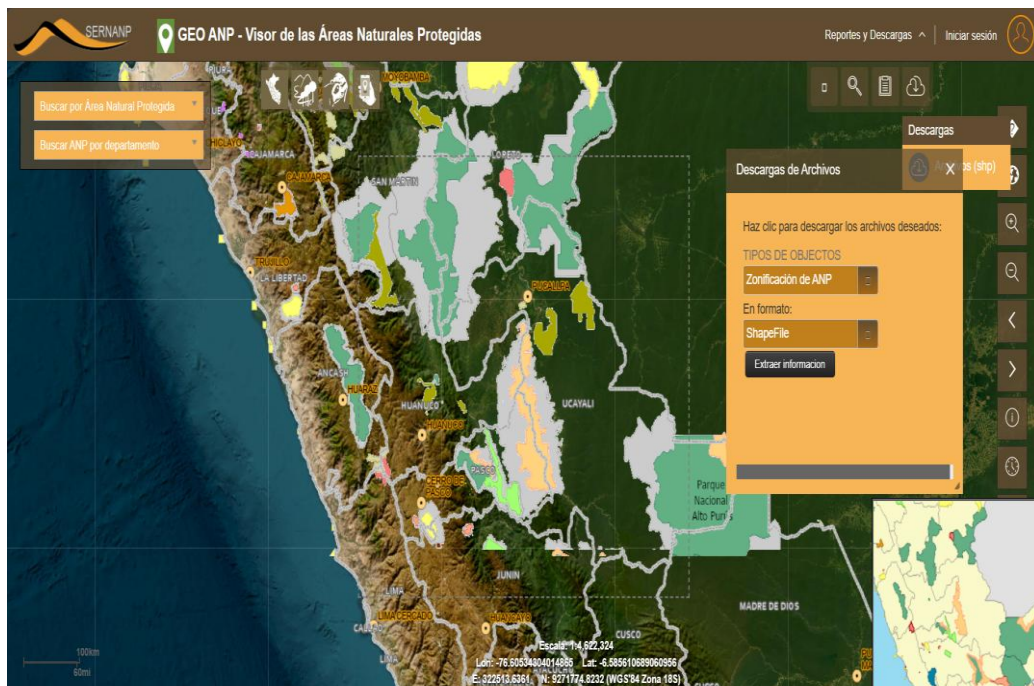


Figura 9. Base de datos del SERNANP

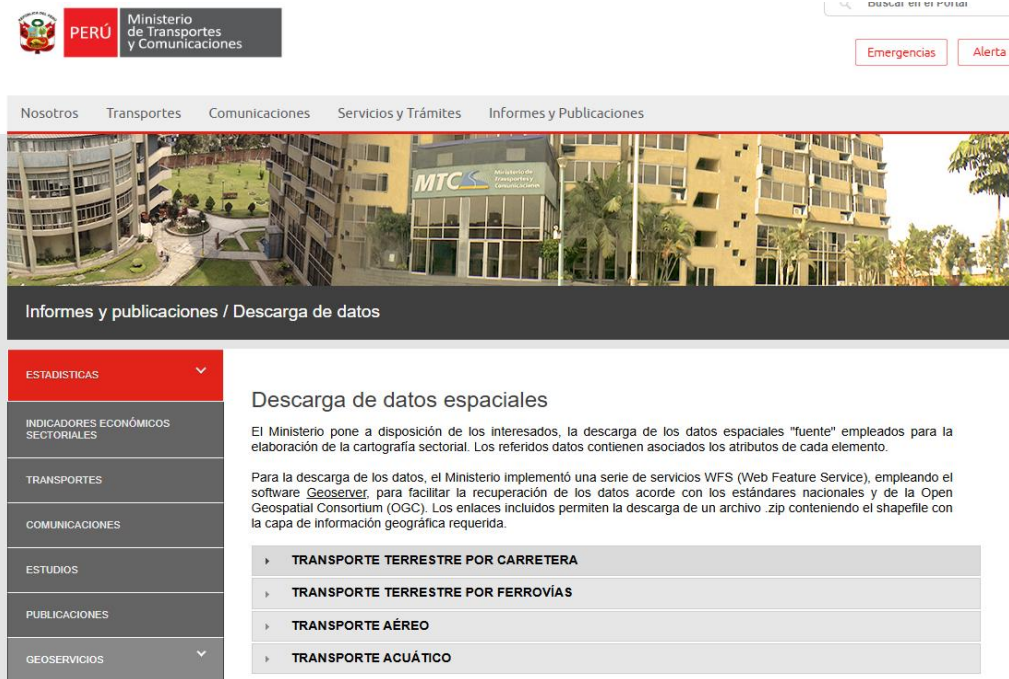


Figura 10. Base de datos de vías de la MTC

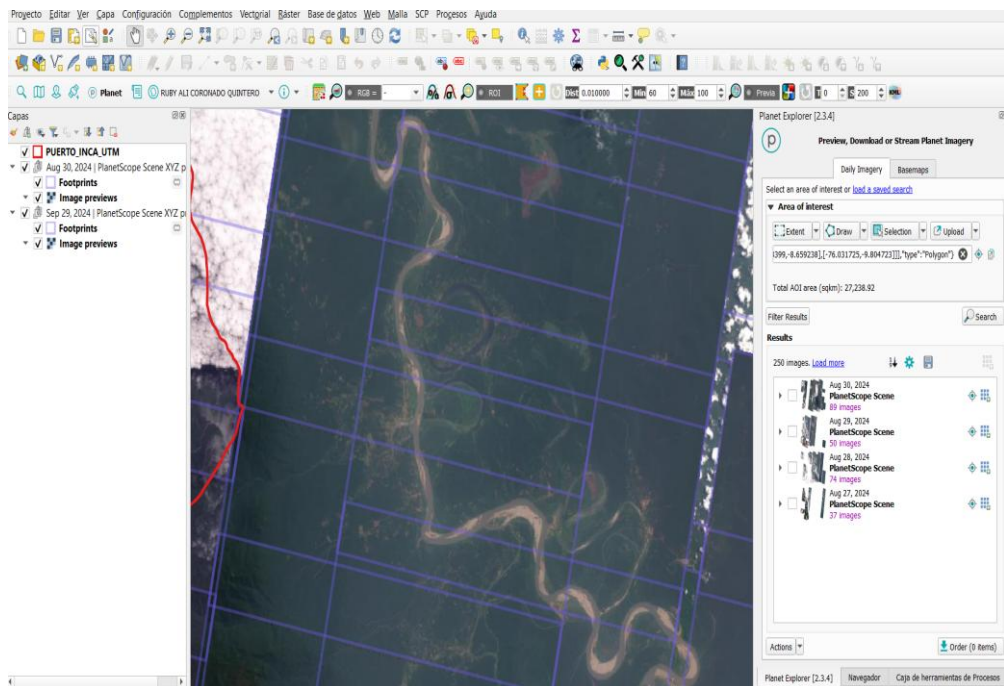


Figura 11. Sistema Planet con QGIS

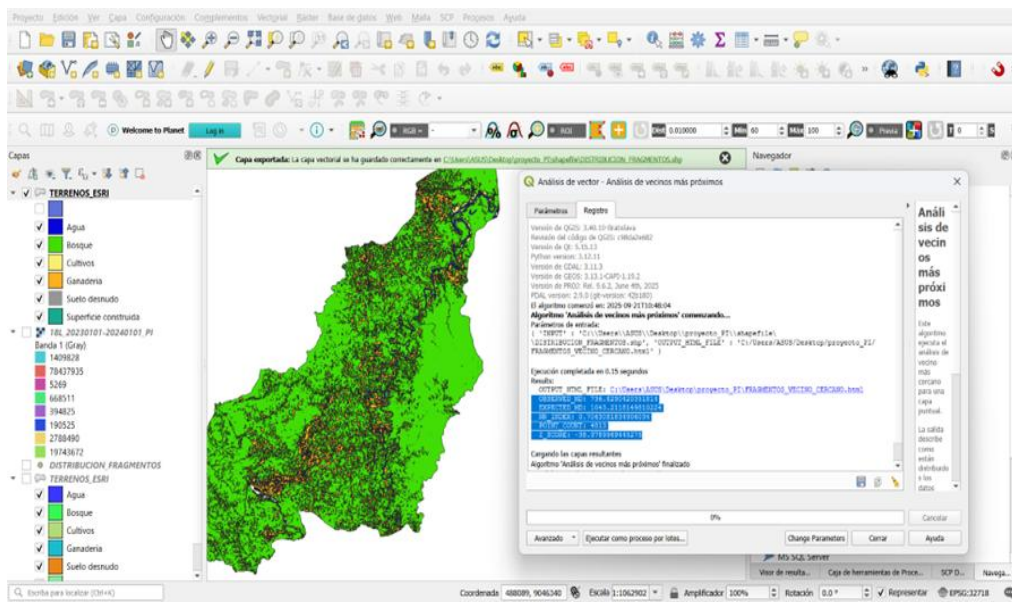


Figura 12. Análisis del vecino más cercano en QGIS

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 13. Entrada principal a la localidad de Puerto Inca



Figura 14. Zona urbana de la localidad de Puerto Inca



Figura 15. Identificación del río Pachitea



Figura 16. Área de ganadería en la localidad de Puerto Inca



Figura 17. Parcela de bolaina en la localidad de Puerto Inca



Figura 18. Áreas deforestadas en la localidad de Tournavista