

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROECOLÓGICOS

MENCIÓN EN GESTIÓN DE BOSQUES TROPICALES



**ANÁLISIS DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA BOSCOA
AL AÑO 2023 EN LA ZONA SELVA DE LA PROVINCIA MARAÑÓN, HUÁNUCO,
PERÚ**

Tesis

Para optar el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGIA

MENCIÓN: GESTIÓN DE BOSQUES TROPICALES

PRESENTADOS POR:

LUISA LORA ESCALANTE

Tingo María – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 006-2025-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 04:00 p.m. del lunes 19 de mayo del 2025, reunidos de manera presencial en la Sala de sustentación de la Escuela profesional de Ingeniería de Suelos y Agua, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

“ANÁLISIS DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA BOSCOSEA AL AÑO 2023 EN LA ZONA SELVA DE LA PROVINCIA MARAÑÓN, HUÁNUCO, PERÚ”

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión de Bosques Tropicales LORA ESCALANTE, LUISA.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas **06:00 p.m.** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Ph. D. LUIS ALBERTO VALDIVIA ESPINOZA
Presidente del Jurado

Ing. M.Sc. MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA
Miembro del Jurado



ING. M.Sc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
Miembro del Jurado

Dr. RONALD HUGO PUERTA TUESTA
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 205 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación 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:

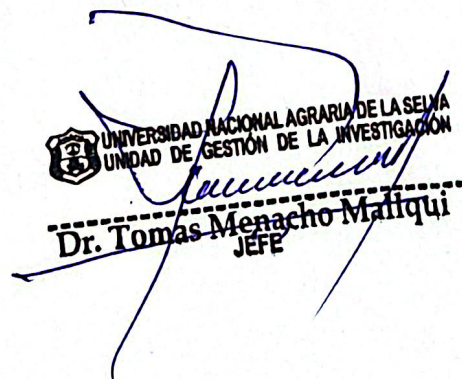
Maestría en Ciencias en Agroecología Mención: Gestión de Bosques Tropicales

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
ANÁLISIS DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA BOSCOA AL AÑO 2023 EN LA ZONA SELVA DE LA PROVINCIA MARAÑÓN, HUÁNUCO, PERÚ	LUISA LORA ESCALANTE	20 % Veinte

Tingo María, 25 de junio de 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN DE BOSQUES TROPICALES



ANÁLISIS DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA BOSCOSA AL AÑO 2023 EN LA ZONA SELVA DE LA PROVINCIA MARAÑÓN, HUÁNUCO, PERÚ

Autor	: Lora Escalante Luisa
Asesores	: Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta
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	: Provincia Marañón – Huánuco
Duración del trabajo	: 9 meses
Financiamiento	: S/. 3 869,50
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo María – Perú Abril, 2025.

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por haberme permitido llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, Melina Escalante Paucar, y a mi hermana, Sheyla Obregón Escalante, quienes ahora descansan en el cielo. Agradezco con el alma todo el amor, la fortaleza y el ejemplo que me dejaron. Mamá, fuiste el pilar de mi vida, y tu amor incondicional me sigue guiando aún en tu ausencia. Sheyla, tu cariño y valentía son una luz que nunca se apaga en mi corazón. Este logro es para ustedes, porque sin su presencia, amor y enseñanzas, no habría llegado hasta aquí. Las llevaré siempre conmigo.

A Greysi Lora Escalante y el pequeño Irving por los momentos felices, Gracias por su cariño incondicional y por acompañarme en todo momento.

A Leodan Toribio Dueñas por acompañarme en los buenos y malos momentos, gracias a tu apoyo y tu paciencia estoy cumpliendo una meta más.

A mis familiares y amigos, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Gracias por su constante apoyo, palabras de aliento y por estar siempre presentes en cada paso de este camino.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria La Selva, mi “Alma mater”, por brindarme las aulas de formación académica durante mis años de estudiante, tengo el orgullo de ser Unasino.

A mi asesor el Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta; por ofrecerme su invaluable asesoramiento en la presente investigación y permitirme cumplir con el desarrollo de la tesis. Gracias por su apoyo y hacer todo lo posible por este trabajo.

Al presidente del jurado, Ph.D. Luis A. Valdivia Espinoza por su apoyo incondicional y orientación profesional en la culminación de este trabajo de investigación.

A mis miembros del jurado, M.Sc Andy W. Vela Zevallos y M.Sc. Marco A. Dueñas Tuesta, por sus recomendaciones y su orientación profesional en todo el proceso del desarrollo de la presente investigación.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigas a Yaquelin Espíritu Leon, Elicia Jesus Adrian y Cristina Sinche Castro; como también a mis familiares por bríndame muchos ánimos, alegría, acompañarme en todo momento, por siempre aconsejarme y apoyarme.

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. Deforestación	3
2.1.3. Cambio de cobertura de bosque.....	4
2.1.4. Pérdida de bosque en Perú	4
2.1.5. Pérdida de bosque en Huánuco.....	5
2.1.6. Pérdida de bosque en la provincia Marañón – Huánuco	6
2.1.7. Ecosistema frágil – Huánuco	6
2.1.8. Teledetección	7
2.1.9. Sistema de Información Geográfica (SIG)	8
2.1.10. Sensores remotos	8
2.1.11. Imágenes satelitales	9
2.1.12. Tipo de clasificación de imágenes	10
2.1.13. Verificación y validación de los mapas	10
2.1.14. Fragmentación	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. Ecología	18
3.1.6. Fisiografía	18
3.1.7. Suelo	18
3.1.8. Vías de transporte y comunicación.....	18
3.2. Material y métodos	18
3.2.1. Materiales y equipos	18
3.2.2. Metodología.....	18

3.2.3. Generalidades de la investigación.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023 en la zona selva de la provincia Marañón.	28
4.2. Cambios de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Marañón.....	34
4.2.1. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2013.....	34
4.2.2. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2013 – 2023.....	35
4.2.3. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2023.....	35
4.2.4. Matriz de transición del periodo 2003-2023.....	37
4.3. Tasa de cambio de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Marañón.....	41
4.4. Grado de fragmentación de la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Marañón.....	45
V. CONCLUSIONES	48
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	49
VII. REFERENCIAS.....	50
ANEXO.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1.	Características de las imágenes satelitales utilizadas para la clasificación.	20
2.	Categorías identificadas para la investigación.	20
3.	Ganancias y pérdidas en la matriz de transición.	22
4.	Clasificación de las formas de los fragmentos.	24
5.	Valores de referencia para el índice de fragmentación.	25
6.	Variables de estudio.	27
7.	Cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023.	29
8.	Matriz de confusión para el mapa de cobertura boscosa y uso del suelo.....	30
9.	Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2013.	34
10.	Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2013 – 2023.	35
11.	Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2023.	36
12.	Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2003-2023.....	38
13.	Tasa de cambio de cobertura y uso del suelo del 2003 al 2023.	41
14.	Fragmentación y métricas de la cobertura boscosa al año 2023.	45
15.	Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2003-2013.....	62
16.	Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2013-2023.....	62
17.	Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2013-2023.....	62
18.	Verificación de puntos en campo, utilizando coordenadas UTM	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Pérdida de bosque amazónico – Perú (2001-2023).....	5
2. Pérdida de bosque en la región de Huánuco – Perú (2001-2023).	6
3. Ecosistemas frágiles en la provincia Marañón - Huánuco.	7
4. Ubicación del área en estudio.....	17
5. Imágenes satelitales del área de estudio para los años 2003, 2013 y 2023.	19
6. Flujograma metodológico.....	26
7. Cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023.	29
8. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo del 2003.....	31
9. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo del 2013.....	32
10. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo del 2023.....	33
11. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2013.	34
12. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2013 – 2023.	35
13. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2023.	36
14. Representación de cambio de cobertura y uso suelo del 2003-2023.....	38
15. Mapa de cambio de cobertura y uso del suelo del 2003 al 2023	40
16. Cambio en %/año de la cobertura y uso del suelo del 2003 al 2023.....	42
17. Mapa concentración de la perdida de bosques al año 2023.	44
18. Fragmentación de la cobertura boscosa – en imagen satelital y aéreas.....	47
19. Mapa de ecosistema frágiles – Provincia Marañón.....	59
20. Mapa de Concesiones Forestales – Provincia Marañón.....	60
21. Mapa de Bosque de Producción Permanente – Provincia Marañón.	61
22. Centro poblado Paraíso – distrito Cholon	66
23. Zona Urbana Paraíso - distrito Cholon.....	66
24. Área agrícola agroforestal – cacao.	67
25. Área agrícola con palma aceitera.	67
26. Área agrícola con palma.....	68
27. Área agrícola con plátano.....	68
28. Área agrícola con arroz.	69
29. Área con uso de pasto.....	69
30. Área con uso de vegetación secundaria.	70
31. Área con cobertura de bosque.	70
32. Distrito la Morada.	71

33.	Centro poblado Nuevo Paraíso – tomada con drone.	71
34.	Zona agrícola, fotografía tomada desde un vehículo RPAS.	72
35.	Paisaje boscoso fragmentado en el distrito la Morada.	73

RESUMEN

La deforestación, degradación y fragmentación de los bosques avanzan a niveles alarmantes, amenazando la biodiversidad y la capacidad de adaptación de los ecosistemas frente a cambios futuros. En este contexto, la presente investigación se llevó a cabo en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú, con el objetivo de cuantificar la cobertura y uso del suelo en los años 2003, 2013 y 2023, analizar los cambios, determinar la tasa y el grado de fragmentación. Para la clasificación supervisada de las imágenes Sentinel 2 y Landsat 5 se utilizó el software SAGA Gis con el algoritmo Random Forest, para lo cual se realizó polígonos de entrenamiento por cada cobertura y uso del suelo; por último, el pos-procesamiento se hizo en el software ArcGIS. Esto permitió realizar un análisis espacial detallado, generando mapas y tablas. Los resultados mostraron la disminución de bosque en 12 276,64 ha y el aumento de áreas agrícolas heterogéneas (10 288,61 ha), pasto (1 357,89 ha) y vegetación secundaria (1 031,36 ha); con una tasa de pérdida de bosque de -0,20% anual (613,83 ha/año) y un incremento en áreas agrícolas heterogéneas 3,36% anual (514,43 ha/año). además, el paisaje se caracteriza por un alto grado de fragmentación, con un índice de 0,73 y 505 parches. Se concluye que esta investigación aporta información clave sobre las transformaciones del paisaje, permitiendo identificar los patrones de cambio a lo largo de dos décadas y resaltando la necesidad de estrategias de planificación y manejo sostenible para mitigar la pérdida de bosque y garantizar la conservación de los recursos naturales en la región.

Palabras claves: análisis espacial, cobertura boscosa, cambio de uso del suelo, fragmentación.

ABSTRACT

Deforestation, degradation, and fragmentation of forests are advancing at alarming levels, threatening biodiversity and the ability of ecosystems to adapt to future changes. In this context, the present research was carried out in the jungle region of the Marañón province, Huánuco, Perú, with the aim of quantifying land cover and land use in the years 2003, 2013, and 2023, analyzing the changes, and determining the rate and degree of fragmentation. For the supervised classification of Sentinel 2 and Landsat 5 images, SAGA GIS software was used with the Random Forest algorithm, for which training polygons were created for each land cover and land use type. Finally, post-processing was done using ArcGIS software. This allowed for a detailed spatial analysis, generating maps and tables. The results showed a decrease in forest area by 12 276,64 hectares and an increase in heterogeneous agricultural areas (10 288,61 hectares), pasture (1 357,89 hectares), and secondary vegetation (1 031,36 hectares), with a forest loss rate of -0,20% annually (613,83 hectares/year) and an increase in heterogeneous agricultural areas of 3,36% annually (514,43 hectares/year). Additionally, the landscape is characterized by a high degree of fragmentation, with an index of 0,73 and 505 patches. It is concluded that this research provides key information on landscape transformations, enabling the identification of change patterns over two decades and highlighting the need for sustainable planning and management strategies to mitigate forest loss and ensure the conservation of natural resources in the region.

Keywords: spatial analysis, forest cover, land-use change, fragmentation

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la deforestación, la degradación y la fragmentación de los bosques continúan a un ritmo alarmante, lo que provoca gravemente la pérdida actual de biodiversidad de flora y fauna. El crecimiento agrícola sigue siendo las principales causas de estos cambios, mientras que la estabilidad de los alimentos y su capacidad para adaptarse a futuros cambios también depende de la biodiversidad. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2020).

Entre 2001 y 2023, la región de Huánuco ha perdido 399 654 hectáreas de bosque amazónico, concentradas en las provincias de Puerto Inca, Leoncio Prado y Marañón. Puerto Inca registra la mayor pérdida con 296 489 hectáreas, destacando 20 385 hectáreas en 2005 y 20 036 hectáreas en 2014; en 2023 se perdieron 11 312 hectáreas. Leoncio Prado acumuló 46 039 hectáreas perdidas, con un máximo de 2 964 en 2014 y 2 485 en 2023. Marañón reportó 26 669 hectáreas, con picos de 1 839 y 1 691 hectáreas en 2014 y 2015 respectivamente, y 1 149 hectáreas en 2023 (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023).

En la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, la principal causa de deforestación es la expansión de la frontera agrícola, impulsada por el establecimiento de cultivos como el arroz y palma aceitera. Este proceso ha generado un impacto significativo en el ecosistema boscoso, causando que la flora y fauna se vean severamente afectados.

En este contexto se formula la siguiente interrogante: ¿Cuál es el grado de fragmentación en la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú? Al respecto podemos afirmar que la cobertura boscosa se encuentra fuertemente fragmentado al año 2023.

Así que, la importancia de este ecosistema radica en su alto valor ecológico, ya que alberga una notable biodiversidad y cumple funciones clave en la regulación del clima, la conservación del suelo y la disponibilidad de agua. Sin embargo, en las últimas décadas, las actividades humanas como la expansión agrícola, la ganadería y los asentamientos han provocado una creciente fragmentación del bosque. Por ello, resulta fundamental cuantificar el grado de fragmentación para entender la magnitud del impacto.

Por último, mediante la presente investigación se pretende, analizar y monitorear los cambios en la cobertura boscosa a lo largo del tiempo utilizando datos obtenidos de satélites. Asimismo, contribuir al conocimiento y comprensión de los patrones, causas y consecuencias de la deforestación, con el fin de apoyar la conservación y la gestión sostenible de los bosques en el país.

Por lo tanto, se plantea los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Analizar el grado de fragmentación en la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú.

1.1.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023 en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú.
- Determinar los cambios de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú.
- Determinar la tasa de cambio de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Marañón – Huánuco, Perú.
- Estimar el grado de fragmentación de la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú.

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. Deforestación

Smith y Schwartz (2015), definen la deforestación como la conversión de los bosques a otro uso de las tierras o una reducción significativa a un plazo largo de la cubierta forestal. Todo ello incluye la conversión de bosques naturales en plantaciones, agricultura, pasto, embalses y zonas urbanas. La FAO (2012) aclara que la deforestación significa la pérdida permanente de la superficie forestal e implican la conversión a otros usos de las tierras. La deforestación puede ser causadas por los humanos o por la naturaleza.

Se puntualiza que la tala en áreas forestales gestionadas, mediante regeneración natural o con la ayuda de medidas de silvicultura no constituye deforestación (Smith y Schwartz, 2015). Las talas son legales cuando se rige por un plan de manejo forestal controlado por el departamento forestal; concluyendo que es ilegal cuando se extrae en zonas no reguladas (para la explotación maderable, cultivo o actividad ilegales y minería). esto significa que la tala selectiva de árboles puede provocar deforestación. Asimismo, es importante señalar que el aprovechamiento de las plantaciones privadas se refiere únicamente al aprovechamiento forestal.

2.1.2.1. Impacto de la deforestación

La deforestación es una de las mayores actividades que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, y debido a esta actividad se pierde una gran cantidad de biomasa arbórea, poniendo en peligro a la biodiversidad, no solo por la

pérdida de árboles individuales, sino también por la pérdida de hábitat de vida silvestre y servicios ambientales forestales (MINAM, 2009). Pero no se trata solo de aspectos biofísicos, sino también de bienestar social, ya que la deforestación afecta el agua, la energía, los alimentos, la salud, la seguridad climática y los medios de vida (Rautner et al., 2013). Por lo tanto, podemos estar seguros de que el impacto de la deforestación afecta a casi todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

2.1.2.2. Causas de la deforestación

Para comprender la dinámica de la deforestación, es importante comprender los factores y causas que conllevan a la pérdida de bosques. Los agentes son actores económicos, ya sean personas naturales, empresas o comunidades, cuyas actividades se desarrollan bajo prácticas insostenibles que conllevan cambios de uso del suelo y la pérdida total o parcial de bosques en un área específica, ya sea por actividades lícitas o ilícitas que se han desarrollado. Las causas se refieren al complejo de acciones, causas y factores de la deforestación (MINAM, 2018).

Asimismo, el 90% de la deforestación se debe al desmonte de menos de una hectárea de la tierra, siendo los principales impulsores directos de la deforestación como la agricultura y la ganadería. Otras causas inmediatas son la minería, especialmente la minería ilegal y los cultivos ilícitos. Además, hay deforestación debido a proyectos de infraestructura como centrales hidroeléctricas, extracción de hidrocarburos, mala prácticas madereras y tala ilegal (Global Green Institute y die, 2015).

2.1.3. Cambio de cobertura de bosque

El uso del suelo incluye todos los elementos que se encuentran en la superficie de la tierra, naturales o creados por el hombre; identificar sus usos y su cobertura vegetal, permitiendo establecer el alcance de la intervención humana en el ecosistema de interés, su estado de conservación e identificar esencialmente los conflictos socio ambientales existentes (Barchuk, 2013). Los cambios en la intensidad y los patrones de uso de la tierra son uno de los principales impulsores del cambio de la biodiversidad y pueden conducir a la pérdida de importantes servicios ecosistémicos (Rodríguez et al., 2010). La presión humana sobre el suelo ha alcanzado límites críticos, lo que ha provocado su degradación, reduciendo así la capacidad del recurso para satisfacer la biodiversidad y las necesidades humanas (world wildlife fund [WWF], 2018).

2.1.4. Pérdida de bosque en Perú

Perú cuenta con aproximadamente 72 millones de hectáreas de superficie forestal, cubriendo más del 56% del territorio nacional. A pesar de esta vasta cobertura, la

pérdida de bosques amazónicos continúa a un ritmo alarmante. En 2023, se perdieron 132 216 hectáreas de bosque húmedo amazónico. Esta cifra es parte de una tendencia de deforestación que ha variado en los últimos años, alcanzando su máximo en 2020 con 203 272 ha perdidas. Entre 2001 y 2023, la pérdida total de bosque amazónico fue de 3 053,354 ha. En promedio, la pérdida anual durante este período ha sido significativa, manteniéndose cerca de las 150 000 ha por año, lo que representa una amenaza considerable para los ecosistemas amazónicos del país (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023).

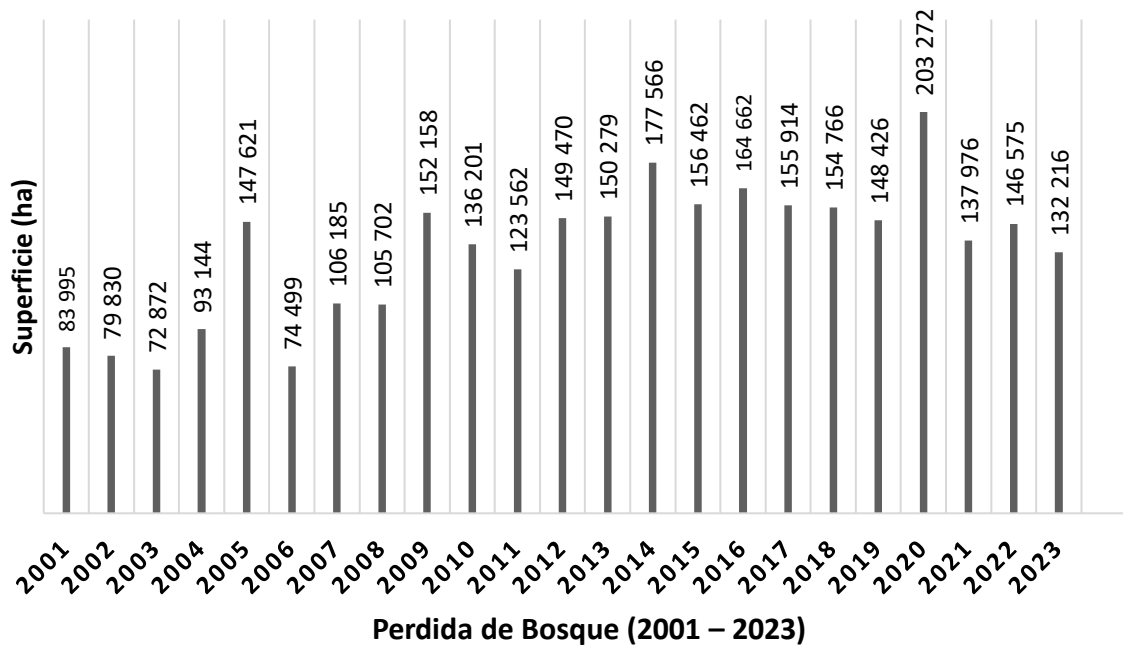


Figura 1. Pérdida de bosque amazónico – Perú (2001-2023).

2.1.5. Pérdida de bosque en Huánuco

Entre 2001 y 2023, la región de Huánuco ha sufrido una pérdida considerable de bosque amazónico, con un total acumulado de 399 654 ha distribuidas en las provincias de Puerto Inca, Leoncio Prado, y Marañón. Puerto Inca ha sido la provincia más afectada, con una pérdida acumulada de 296 489 ha, registrando su mayor deforestación en 2005 con 20 385 ha y en 2014 con 20 036 ha, mientras que en 2023 la cifra fue de 11 312 ha.

Por su parte, Leoncio Prado ha experimentado una pérdida total de 46 039 ha, con un máximo en 2014 de 2 964 ha y una deforestación de 2 485 ha en 2023. Finalmente, en Marañón se han perdido 26 669 ha de bosque entre 2001 y 2023, con los picos más altos en 2014 y 2015, cuando se registraron 1 839 y 1 691 ha respectivamente, y una pérdida de 1 149 ha en 2023 (MINAM, 2023).

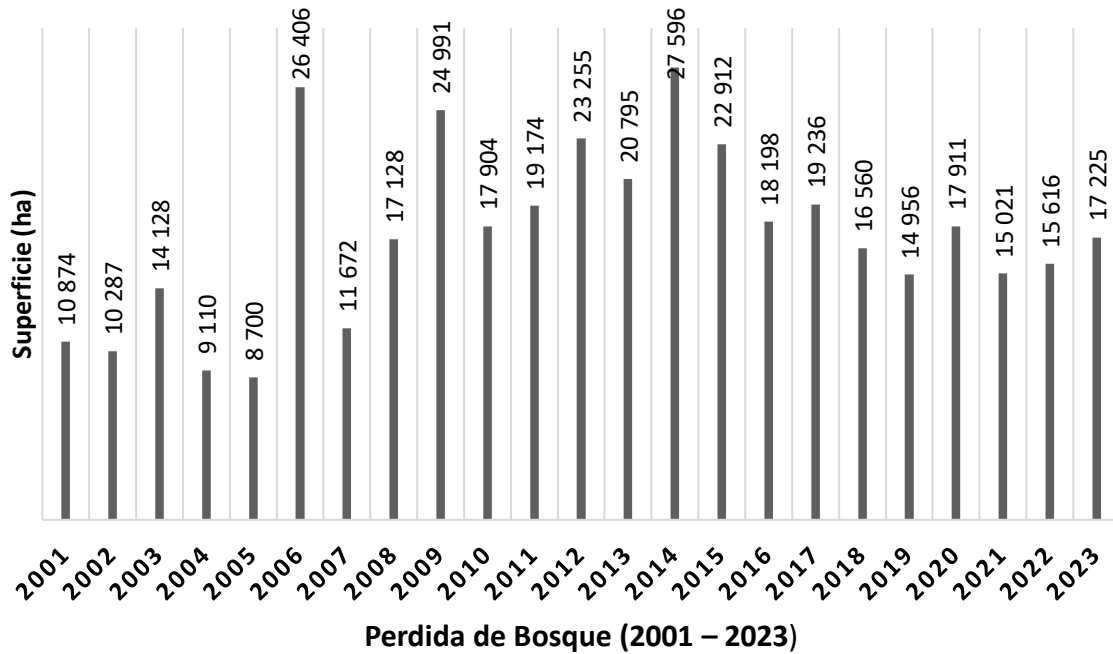


Figura 2. Pérdida de bosque en la región de Huánuco – Perú (2001-2023).

2.1.6. Pérdida de bosque en la provincia Marañón – Huánuco

Entre 2001 y 2023, la región de Huánuco ha perdido 399 654 hectáreas de bosque amazónico, concentradas en las provincias de Puerto Inca registra la mayor pérdida con 296 489 hectáreas, Leoncio Prado acumuló 46 039 hectáreas y Marañón reportó 26 669 hectáreas, (MINAM, 2023). Entre las principales causas destacan la agricultura informal, la tala ilegal y los incendios forestales y actividades que afectan los ecosistemas. Asimismo, dentro del bosque el gobierno ha otorgado 28 concesiones madereras, de las cuales solo 3 están activas en la zona mencionado en Global Forest Watch (2023).

Es importante destacar que estos factores pueden interactuar entre sí y amplificar sus efectos en la pérdida de bosque, y que para combatir la deforestación es necesario implementar estrategias integrales y sostenibles que aborad estas causas de manera efectiva (Collao, 2021).

2.1.7. Ecosistema frágil – Huánuco

Mediante la Resolución Directoral Ejecutiva N.º D000004-2020-MINAGRI-SERFOR-DE designan áreas como ecosistemas frágiles en el Perú. Enfatizando la importancia de proteger ecosistemas que son altamente sensibles a las alteraciones, debido a su relevancia ecológica, la presencia de biodiversidad única, especies en peligro, y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, la norma busca garantizar la conservación y el manejo sostenible de estas áreas frente a amenazas ambientales y actividades humanas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2020).

Los Ecosistemas frágiles que están en el distrito de Marañón:

El ecosistema frágil Pajonal de Puna Húmeda - Yanajanca, en Huánuco, abarca 199 503,71 ha entre 1 037 y 4 562 msnm, destacando por sus bosques montanos, bofedales y lagunas altoandinas que albergan especies endémicas y en peligro, como Ateles chamek y Myrmecophaga tridactyla. Por su parte, el ecosistema Jalca San Pedro de Chonta cubre 53 450,96 ha y actúa como corredor ecológico para especies amenazadas como el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*). Este ecosistema, clave para la regulación hídrica y control de la erosión, enfrenta amenazas como la expansión agrícola y la tala ilegal (SERFOR, 2019).

Finalmente, los ecosistemas frágiles proporcionan un contexto crucial para la investigación, ya que permiten entender las dinámicas de pérdida y fragmentación del paisaje, evaluando los impactos humanos en áreas de alta sensibilidad ecológica y subraya la urgencia de implementar estrategias de manejo sostenible en la región.

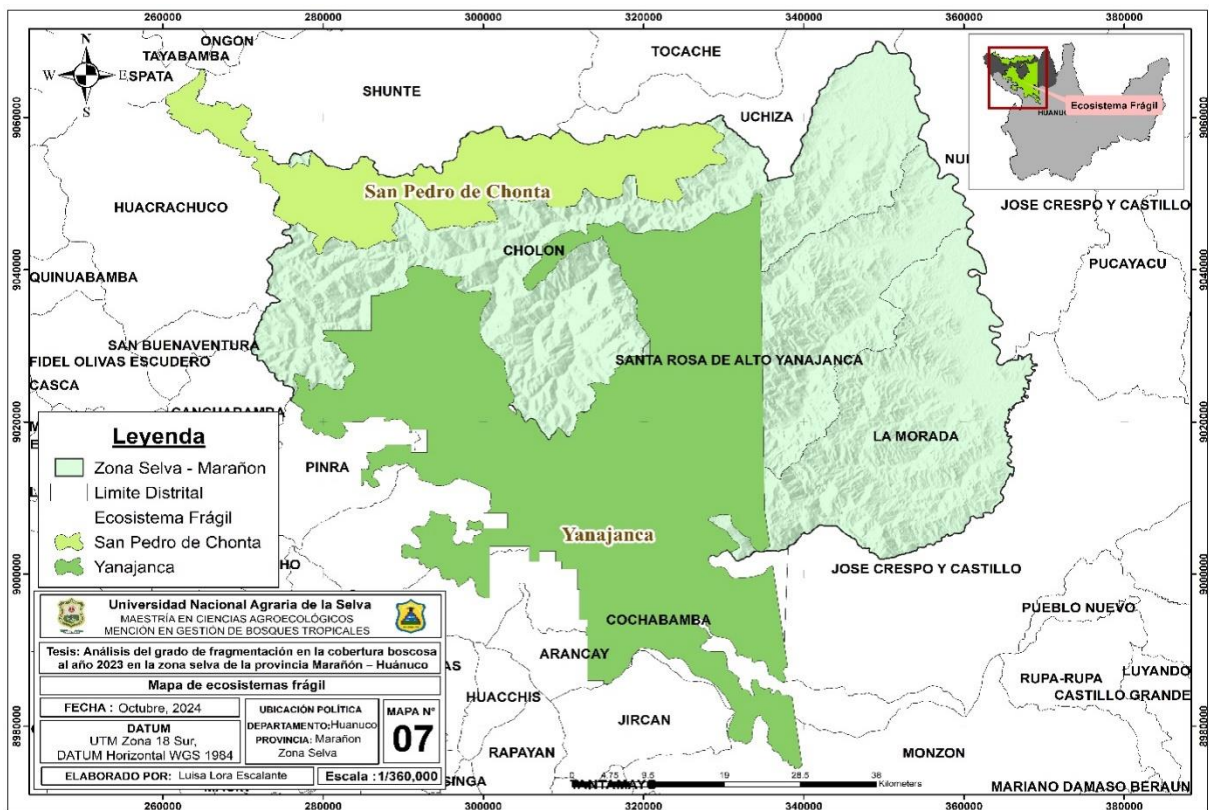


Figura 3. Ecosistemas frágiles en la provincia Marañón - Huánuco.

2.1.8. Teledetección

La percepción remota o teledetección, es la ciencia y el arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno mediante el análisis de datos adquiridos por equipos que no están en contacto con el objeto, área o fenómeno que se investiga (Lillesand et al., 2015). Implica el proceso de obtener información sobre un objeto distante sin contacto directo con el objeto a través del flujo de energía de energía entre el sensor y la superficie, este

flujo de energía es radiación electromagnética, que representa una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propaga a través de espacio, al transferir energía desde un lugar se transporta a otro lugar (Araya, 2013).

2.1.8.1. Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se definen como la propagación simultánea de campos eléctricos y magnéticos generando cargas en movimiento llamadas fotones, de naturaleza tridimensional porque por que se propagan en tres direcciones del espacio y no requieren de un medio para su propagación. Las ondas electromagnéticas se distinguen por la longitud de onda (λ) o la frecuencia (f), y la velocidad de propagación depende del medio, por lo que a longitudes de ondas más cortas transporta más energía (Von Martini, 2015).

2.1.8.2. Firmas espectrales

La fuente de radiación más común para las imágenes de teledetección es el sol. La radiación del sol llega primero a la atmosfera. Los gases presentes en la atmosfera, al igual que el resto de materia presente en el universo, interactúan con la radiación, absorbiéndola, reflejándola o transmitiéndola (Von Martini, 2015).

2.1.9. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Es una herramienta diseñada para procesar información con ubicación geográfica. Permite diversas operaciones, como la lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales, además de realizar análisis tanto en la ubicación de los elementos como en su contenido temático. También facilita la generación de mapas, informes y gráficos. En esencia, un SIG combina una base de datos con capacidades de georreferenciación y herramientas para procesar datos espaciales, permitiendo un análisis detallado del territorio (García, 2021).

2.1.10. Sensores remotos

Un sensor remoto es un componente de un sistema de detección remota que detecta radiación a ciertas distancias o longitudes, de la atmosfera, y que puede variar ampliamente (Lillesand et al., 2015). Los datos de sensores remotos se pueden recopilar de forma pasiva o activa utilizando instrumentos de detección remota analógicos o digital, preferiblemente simultáneamente con datos de campo de campo; su recopilación y análisis pueden ser costosos. Estos datos se analizan utilizando diversas técnicas de procesamiento de imágenes que incluyen: procesamiento de imágenes analógicas (visuales) y procesamiento de imágenes digitales (Jensen, 2017).

2.1.11. Imágenes satelitales

Una imagen satelital es una matriz de píxeles, organizados en filas y columnas, donde cada celda representa un área geográfica indivisible. El tamaño del píxel varía según el satélite y el sensor utilizado, determinando el nivel de detalle espacial que puede distinguirse en la imagen. Cada píxel almacena un valor numérico que indica la cantidad promedio de energía solar reflejada, la cual depende del material presente en la superficie. Los sensores satelitales capturan diferentes niveles de energía, transformándolos en colores en la imagen final (Chuvieco, 2011).

Una característica clave de los sensores es su capacidad para captar información en rangos específicos del espectro electromagnético, registrándola en bandas espectrales. Para visualizar las imágenes satelitales, se utilizan los colores primarios (rojo, verde y azul), combinándolos para representar distintas bandas digitales. Esto permite detectar longitudes de onda invisibles al ojo humano, como la luz infrarroja, facilitando el estudio de diversos objetos y fenómenos (CCRS, 2012).

- Satélite Landsat

La serie de satélites Landsat de la NASA, el primer programa diseñado específicamente para detectar de forma remota características del medio ambiente de la tierra, ha estado monitoreando durante más de cuatro décadas y proporciona el registro más largo de imágenes multiespectrales en la historia mundial. La primera versión (Landsat 1) se lanzó en 1972, seguida en los años siguientes por las misiones Landsat 2, 3, 4, 5, y 7, que proporcionaron una cobertura casi global de observaciones térmicas y de longitud de onda reflejada con mayor fidelidad. Ha sido ampliamente utilizado en diversas aplicaciones gubernamentales, privadas y públicas (Zanter, 2018).

El último satélite de la serie, Landsat 8, se puso en órbita el 11 de febrero de 2013 y sigue funcionando en la actualidad. El satélite opera en una órbita polar sincrónica con el sol a una altitud de 705 kilómetros. Los datos se recopilaron en franjas de 185 kilómetros y luego se dividen en 185 kilómetros x 180 kilómetros, con una resolución temporal de 16 días. Landsat 8 es un satélite equipado con dos sensores, el primero se llama Operational Land Imager (OLI) y el segundo se llama Sensor Infrarrojo Térmico (TIRS). En total, el satélite midió la reflectancia en 11 longitudes de onda espectrales (Zanter, 2018).

- Satélite Sentinel-2A

El satélite Sentinel-2A es el primer satélite óptico del programa europeo Copernicus, desarrollado por Airbus Defence and Space para la Agencia Espacial Europea (ESA). Su sensor cubre 13 bandas espectrales, desde el espectro visible hasta el infrarrojo de

onda corta, con resoluciones que varían entre 10 y 60 metros, permitiendo un monitoreo global avanzado. Cuatro bandas de 10 metros garantizan la continuidad de misiones anteriores como SPOT-5 y Landsat-8, mientras que seis bandas de 20 metros mejoran la clasificación del suelo y la recuperación de parámetros geofísicos. La banda de 60 metros se emplea para corrección atmosférica y detección de cirros. Además, el Sentinel-2A es la primera misión civil que incluye tres bandas en el borde rojo, lo que permite monitorear el estado de la vegetación con mayor precisión. Su alta resolución espacial y temporal facilita la detección temprana de cambios en la salud de las plantas, lo que es clave para la agricultura y la seguridad alimentaria, especialmente en países en desarrollo (Marín, 2018).

2.1.12. Tipo de clasificación de imágenes

La clasificación numérica implica clasificar imágenes que contienen múltiples bandas. Desde una perspectiva estadística, esto reduce la escala de mediciones de variables continuas (ND) a una escala categórica o nominal (MINAM, 2014). Hay dos tipos de clasificación: clasificación no supervisada y clasificación supervisada, la primera es tener algún conocimiento del área (a través del trabajo de campo) y seleccionar las muestras (áreas de entretenimiento) que se asignaran al cálculo, la segunda es no conocer el independiente de la región, su búsqueda de homogeneidad es automática (Alva et al., 2004).

- Método mínimo de distancia

La forma más sencilla de clasificar los píxeles en una clase es asignarlo a la clase más cercana, es decir, la clase con la distancia más pequeña entre el píxel y el centroide de esa clase. Las distancias utilizadas en este caso no es una medida geográfica, sino espectral, ya que el valor de la variable ND para cada píxel se compara con el valor central de las diferentes clases en todas las bandas utilizadas a analizar (MINAM, 2014).

- Validación de resultados

En los últimos años, el desarrollo de métodos de validación estadística se ha considerado importante para cualquier investigación. Estos métodos permiten a los usuarios de mapas evaluando el grado de acuerdo entre el mapa y la realidad. Una medida de confiabilidad es el uso de áreas de pruebas, que proporcionan una medida independiente de la coherencia entre el mapa y la realidad del terreno. Se trata de muestrear el terreno clasificado para obtener las mediciones necesarias para validar los resultados (MINAM, 2014).

2.1.13. Verificación y validación de los mapas

Al finalizar la interpretación digital de imágenes satelitales, se realiza un proceso de verificación de calidad para validar el método y los resultados obtenidos. Según

Chuvieco (2008), esta verificación es el último paso en la clasificación de imágenes, detección de cambios e interpretación de datos.

El proceso requiere aplicar técnicas de muestreo que permitan estimar los errores con la mayor precisión y el menor costo posible. Para ello, se selecciona una muestra representativa del terreno, estableciendo una relación entre los resultados obtenidos y la realidad. Chuvieco (2008) señala que la validación debe seguir cuatro pasos: planificación del diseño de la muestra, recopilación de datos de referencia, análisis de los resultados y ajustes finales si es necesario.

2.1.14. Fragmentación

La fragmentación es el proceso por el cual la matriz del paisaje esta progresivamente subdividida en parches más pequeños y aislados, principalmente debido a las actividades humanas de uso del suelo (Batistella et al., 2013); dando como resultado de continuidad del ecosistema, lo que resulta en cambios significativos en el medio físico y biogeográfico, cambiando significativamente. Su funcionalidad (Barbosa y Marquet, 2012). Puede ocurrir a nivel de ecosistemas, en parcelas, paisajes, teselas o mosaico; la causante más común son la agricultura insostenible, la deforestación, el aumento del transporte, el desarrollo residencial o comercial, las producciones de energía y el aumento de la minería (WWF, 2018). Es una de las principales amenazas a la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos; también tiene un enorme impacto en la estructura y calidad del hábitat, la alteración de los corredores de dispersión de la vida silvestre, la recolonización de los bosques, el microclima forestal y la hidrología (WWF, 2018).

- Métricas de patrones del paisaje

La heterogeneidad espacial es fundamental para comprender la relación entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos, como la distribución de recursos en el paisaje y sus cambios a lo largo del tiempo. Por ello, la medición, análisis e interpretación de estos patrones son esenciales en la ecología del paisaje. Según Neel (2014), se han desarrollado numerosas métricas para describir la composición y configuración del paisaje, las cuales se aplican en diversas áreas, como el análisis del cambio del paisaje, la estructura de los ecosistemas, los procesos de metapoblación, y la evaluación de la pérdida y fragmentación del hábitat, incluyendo su impacto en la conectividad del paisaje.

En este contexto, McGarigal (2015) señaló que estas métricas se agrupan en cuatro niveles: celda, parche, clase y paisaje. Las métricas a nivel de celda evalúan el contexto espacial de los vecinos locales alrededor de cada celda. A nivel de parche, se analizan las características espaciales y contextuales de parches individuales. Las métricas de clase

describen la cantidad y distribución de tipos específicos de parches, funcionando como un índice de fragmentación. Por último, las métricas a nivel de paisaje reflejan el patrón espacial de todo el mosaico, interpretándose como un índice de heterogeneidad del paisaje.

2.2. Estado del arte

Arroyo et al. (2017) señalan que la Amazonía Centro-Sur enfrenta elevadas tasas de deforestación proyectadas, las cuales están vinculadas a un complejo proceso de degradación forestal causado por la fragmentación. En escenarios con mayor deforestación, los indicadores de paisaje reflejan un marcado deterioro debido a la pérdida de hábitat y a los cambios en la heterogeneidad del paisaje. La fragmentación genera modificaciones en la estructura y composición de la cobertura forestal, lo que a su vez provoca el aislamiento de poblaciones. Estas alteraciones pueden influir en la capacidad de adaptación de ciertas especies y ecosistemas frente al cambio climático, incrementar el riesgo de incendios, y modificar factores ambientales, entre otros efectos.

Alarcón (2019) desarrolló un estudio sobre la evaluación de la fragmentación y conectividad ecológica entre los remanentes de cobertura vegetal en el área influenciada por el río Cravo Sur en el municipio de Yopal, Casanare, Colombia, llegando a la conclusión de que, en términos generales, la aplicación de métricas a nivel de paisaje y categoría se mostró como un enfoque adecuado para identificar cambios en los períodos analizados. El estudio examinó las transformaciones en la composición y disposición del paisaje, revelando alteraciones en la diversidad, uniformidad, fragmentación, conectividad y complejidad de las formas, así como la agrupación en el entorno del paisaje. A nivel de métricas, se observó que el paisaje exhibía una estructura variable en su configuración espacial. Se destacaron diferencias significativas en los remanentes de bosque denso, lo que indicaba un deterioro del ecosistema debido a la deforestación. Las métricas utilizadas reflejaron un aumento en la fragmentación del paisaje y una disminución en la conectividad de los espacios naturales, lo que contribuyó a una mayor heterogeneidad en el paisaje.

En un estudio, Puerta (2023) analizó la dinámica de la cobertura boscosa del Parque Nacional Tingo María (PNTM) y su zona de amortiguamiento (ZA) en la selva alta de Huánuco, Perú, utilizando imágenes Sentinel-2 y el algoritmo de inteligencia artificial Random Forest. Los mapas generados para los años 2017, 2019 y 2021 indicaron una exactitud temática considerable. Durante este periodo, la tasa de cambio de bosque a no bosque en el PNTM aumentó de -0,26 (2017-2019) a -1,24 (2019-2021), influenciada por fenómenos naturales, mientras que en la ZA las tasas de cambio pasaron de -2,97 a -4,39, reflejando el impacto del cambio de uso de suelo. Las métricas del paisaje indicaron que los bosques del PNTM están

moderadamente fragmentados, mientras que los de la ZA muestran una fragmentación severa. En conclusión, el área natural protegida ha logrado mantener la cobertura vegetal, a pesar de las presiones externas.

En una investigación, Hinojosa (2021) analizó la fragmentación del paisaje en Huaricolca, Tarma-Junín, mediante teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). Se utilizaron imágenes Landsat de 2009, 2014 y 2019, procesadas en QGIS y clasificadas en SAGA GIS con validación del índice de kappa. Las métricas del paisaje fueron estimadas con el complemento LecoS, analizando las causas de fragmentación mediante imágenes y variación de métricas. Se identificaron nueve unidades de paisaje, divididas en naturales (afloramientos rocosos y bofedales) y antropizadas (agricultura andina y plantaciones forestales). Las unidades naturales disminuyeron su extensión, mientras que las antropizadas aumentaron. Además, el número de parches creció, excepto en los bofedales, y la unidad más dispersa fue el tejido urbano. Finalmente, se concluyó que el distrito de Huaricolca presenta un paisaje fragmentado (44.33 %), con causas principales como el avance de la frontera agrícola, la ganadería, quemadas de pastizales, suelos descubiertos y la minería artesanal.

En una investigación, Chahua (2019) determinó que la deforestación en el distrito Daniel Alomía Robles, Huánuco, Perú entre 2006 y 2018. Utilizando una clasificación supervisada con imágenes de Sentinel 2A, Landsat 5 y Landsat 8, dividió el estudio en tres periodos: 2006-2010, 2010-2014 y 2014-2018. Los resultados mostraron que para el año 2018, la superficie deforestada alcanzó 8 366,33 hectáreas, equivalente al 54,91% del área del distrito, siendo el periodo 2014-2018 el más crítico, con una tasa de 176,8 hectáreas por año. El mapa de deforestación presentó una notable precisión, con un índice de Kappa de 0,75 y una exactitud global del 87,8%. Estos hallazgos destacan la necesidad de medidas urgentes para mitigar la pérdida forestal en la región.

Chávez (2023) en un estudio sobre los cambios en el uso de suelo en el distrito de cafetalero de Ocumal, Chachapoyas, Perú. Mediante una clasificación supervisada con el método Random Forest y la interpretación visual de imágenes Landsat en Google Earth Engine (GEE) para los años 2000, 2010 y 2020. Además, simuló mapas de cobertura para los años 2030 y 2040 utilizando el plugin Molusce en QGIS 2.18, y empleó el software IDRISI SELVA 17.0 para construir matrices de tabulación cruzada y calcular tasas de cambio anual. Los resultados mostraron un incremento del 12,6% y 7,40% en cultivos de café durante los periodos 2000-2010 y 2010-2020 respectivamente, mientras que las proyecciones indicaron aumentos menores del 2,6% y 0,68% para los periodos 2000-2030 y 2030-2040. Por el contrario, las áreas de bosques y pastos disminuyeron en -5,06% y -2,10% entre 2010 y 2020, debido principalmente

a la expansión agropecuaria, especialmente de cultivos de café, favorecida por la accesibilidad a infraestructuras de transporte y la demanda del mercado.

Toribio (2016) analizó los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Nuevo Progreso, San Martín, Perú entre 2000 y 2015, encontrando una disminución de 14 703,8 ha de bosque y 1 555 ha de vegetación secundaria, mientras que las áreas antropogénicas aumentaron significativamente, incluyendo 6,739.7 ha de mosaicos de cultivos, 6 329 ha de pastos y 607,9 ha de arroz. Las tasas anuales más altas se registraron en arroz (19,75%), palma aceitera (14,18%) y mosaicos de cultivos (8,60%), mientras que los bosques disminuyeron en -1,71% anual. Las proyecciones para 2025 indican que, en un escenario tendencial, los bosques podrían reducirse en 4 166,4 ha, mientras que un escenario de conservación permitiría un incremento de 8 109,8 ha de bosque, destacando la importancia de implementar prácticas agrícolas sostenibles y medidas de conservación.

Fajardo (2023) evaluó la deforestación en el distrito de Castillo Grande, Huánuco, entre 2016 y 2022. Utilizando imágenes Sentinel 2 y algoritmos de clasificación supervisada, se determinó que Random Forest obtuvo los mejores resultados, con índices de Kappa de 0,85 y 0,90 para 2016 y 2022, respectivamente. Durante este periodo, la superficie deforestada aumentó de 3 284,59 ha a 5 440,23 ha, con una tasa anual de deforestación de 368,63 ha/año. El estudio concluyó que Random Forest es una herramienta eficaz para monitorear la deforestación, destacando la necesidad de implementar estrategias de conservación para mitigar su impacto en la región.

Lora (2023) al analizar la dinámica de la deforestación en el distrito de Padre Abad, Amazonía peruana, durante el periodo 2000-2022, utilizando imágenes satelitales Sentinel y Landsat clasificadas en un sistema de información geográfica (SIG). A través de matrices de transición, identificó la conversión de 28 223,43 ha de bosque hacia usos de no bosque, principalmente actividades agrícolas, mientras que las áreas con vegetación secundaria aumentaron en 5 412 ha. Además, se aplicó el modelo Dinámica EGO para simular posibles escenarios al año 2032, proyectándose una pérdida adicional de 28 223,43 ha de bosque y un incremento de 28 124,30 ha de áreas no boscosas, reflejando una expansión de actividades antropogénicas y una disminución de áreas naturales.

Smith (2023) investigó los cambios de cobertura y uso de suelo en la microcuenca Supte, provincia de Leoncio Prado, Huánuco, entre 2000 y 2020, utilizando el modelo Dinámica EGO para simular escenarios al 2030. Bajo un escenario tendencial, se proyectó una pérdida de 817,13 ha de bosque y un aumento de 440,03 ha de áreas agrícolas y 218,79 ha de pastos, mientras que en un escenario de conservación se restaurarían 279,68 ha de bosque y 211,94 ha

de vegetación secundaria, reduciendo 350,44 ha de áreas agrícolas y 115,02 ha de pastos. Este análisis enfatiza la necesidad de buenas prácticas agrícolas para mitigar la deforestación y promover la recuperación de ecosistemas en la microcuenca Supte.

MINAM, (2023) indica que entre 2001 y 2023, la región de Huánuco, Perú, ha sufrido una pérdida considerable de bosque amazónico, con un total acumulado de 399 654 hectáreas distribuidas en las provincias de Puerto Inca, Leoncio Prado, y Marañón. Puerto Inca ha sido la provincia más afectada, con una pérdida acumulada de 296 489 hectáreas, registrando su mayor deforestación en 2005 con 20 385 hectáreas y en 2014 con 20 036 hectáreas, mientras que en 2023 la cifra fue de 11 312 hectáreas. Por su parte, Leoncio Prado ha experimentado una pérdida total de 46 039 hectáreas, con un máximo en 2014 de 2 964 hectáreas y una deforestación de 2 485 hectáreas en 2023. Finalmente, en Marañón se han perdido 26 669 hectáreas de bosque entre 2001 y 2023, con los picos más altos en 2014 y 2015, cuando se registraron 1 839 y 1 691 hectáreas respectivamente, y una pérdida de 1 149 hectáreas en 2023. Estos datos resaltan la continua presión sobre los bosques de la región, lo que plantea importantes desafíos para la conservación y manejo sostenible

(El Gobierno Regional de Huánuco [GOREHCO], 2018) desarrolló un estudio sobre la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) de la región, destacando su rica biodiversidad y su papel como un claro ejemplo de la diversidad ecológica de la Amazonía. La región alberga 16 tipos de formaciones vegetales, incluyendo chacras, pastizales, bosques inundables y bosques tropicales, con una alta concentración de bosques húmedos. Huánuco cuenta con 3 706 969,35 hectáreas de bosque, de las cuales el 17,6% está destinado a la protección de bosques nubosos, mientras que solo el 0,5% se utiliza para actividades como pastoreo, cultivos en limpio y protección forestal. Sin embargo, la región enfrenta una creciente presión debido a la expansión de actividades agropecuarias, como la agricultura migratoria, el cultivo de pastos para animales, la palma aceitera y la explotación maderable, que contribuyen a la pérdida de 14 703,8 hectáreas de bosque y la fragmentación de los ecosistemas, afectando la biodiversidad y complicando los esfuerzos de conservación.

Este estudio, que abarcó cinco provincias (Huánuco, Leoncio Prado, Pachitea, Puerto Inca y Marañón), realizó una mesozonificación a escala 1:50,000 para categorizar las zonas según su aptitud para actividades agropecuarias, forestales, mineras, industriales y de conservación. Además, se identificaron 1 349,100 hectáreas trabajadas en 2019 para actividades agropecuarias, representando una amenaza significativa para la cobertura forestal a pesar de las áreas protegidas existentes. Finalmente, el GOREHCO subraya la importancia de implementar

estrategias sostenibles para mitigar los impactos negativos sobre la biodiversidad y promover el manejo responsable de los recursos naturales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en la provincia Marañón, con una superficie total de 494 930,63 ha de las cuales 415 575,76 ha son de la zona selva, encontrándose en la región natural de selva alta.

3.1.1. Ubicación geográfica

El estudio se localizó en las coordenadas UTM: 362 879 Este - 9 070 123 Norte, en la zona 18 S proyectada en el datum WGS 1984.

3.1.2. Ubicación política

Departamento : Huánuco.

Provincia : Marañón.

Distritos : Cholon, Santa Rosa de alto Yanajanca y la Morada.

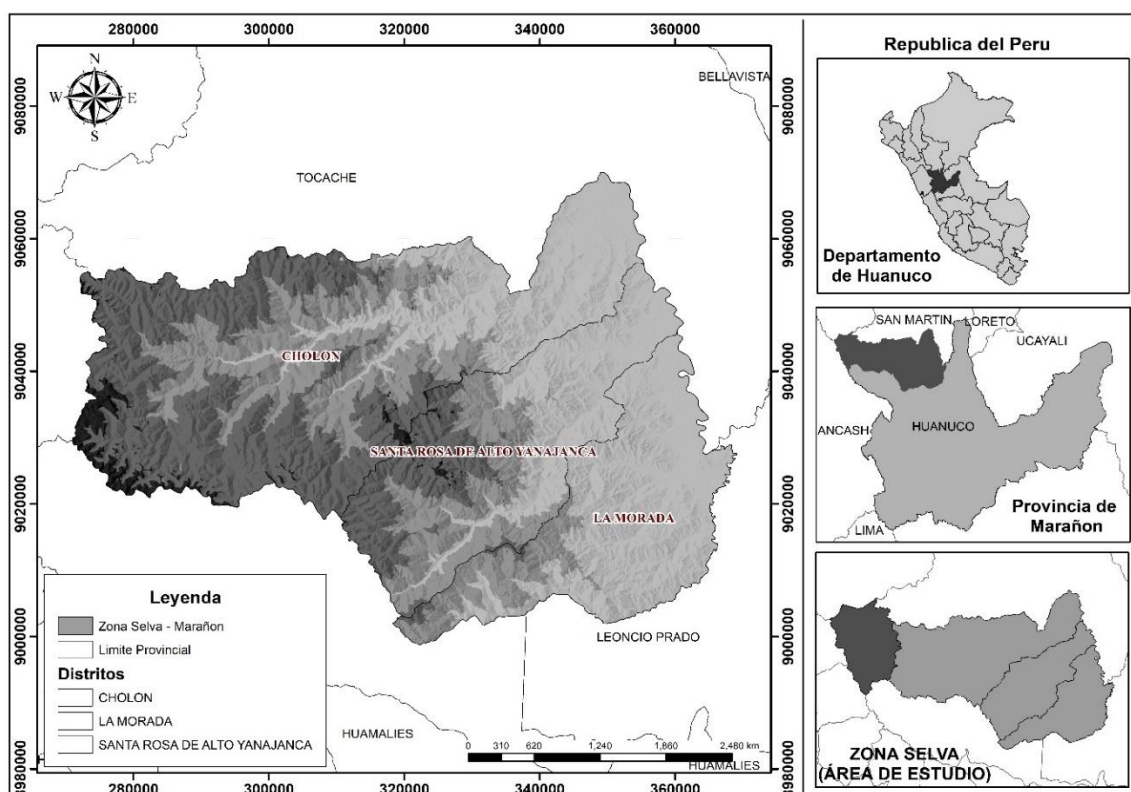


Figura 4. Ubicación del área en estudio.

3.1.3. Altitud

La provincia se ubica a una altitud desde 800 hasta 4 800 m s.n.m.

3.1.4. Clima

Según SEMAMHI (2024) menciona que la provincia tiene un clima diverso, que va desde climas subtropicales ubicados en los valles de los ríos Marañón y

Huacrachuco, hasta climas templados – secos a más fríos. La temperatura promedio es de 18 °C, la temperatura máxima es de 28 °C y la temperatura mínima promedio es de 6 °C.

3.1.5. Ecología

Según Holdridge (1971), la clasificación de zonas de vida muestra que la unidad de estudio existe en la formación vegetativa de la transición de bosque muy húmedo Premontano Sub Tropical (bmh-PST) transicional a bosque húmedo Tropical (bh - T).

3.1.6. Fisiografía

Desde el punto de vista geográfico, presenta un paisaje estructural característico de montañas y bosques montanos, conformado por relieves escarpados, laderas de pendiente pronunciada y flancos de valles interandinos, lo que genera una alta diversidad de microclimas y una notable variabilidad en la cobertura vegetal (SERFOR, 2019).

3.1.7. Suelo

Están asociados a bosques montanos, con una alta capacidad de regulación hídrica y una composición que favorece cultivos como maíz, yuca y papa, frutas andinas y legumbres. Además, son aptos para la producción de tubérculos y pastos (SERFOR, 2019).

3.1.8. Vías de transporte y comunicación

Desde la ciudad de Tingo María por la carretera Fernando Belaúnde hasta el centro poblado de Manteca, luego hacia Nuevo Paraíso que pertenece al Distrito de Cholón; desde aquí se continúa hasta la localidad. La situación de las vías han ido mejorando al paso de los años, con carreteras de asfalto, permitiendo el acceso a los centros poblados.

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, cámara fotográfica, drone, imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 5. Los programas que se utilizó son: PanetScope, Google Earth Engine, SAGA GIS, Fragstats v4.2, ArcGIS 10.8, BaseCam, Microsoft Word y Excel.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Cuantificación de la cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

a. Recopilación de información cartográfica

En esta parte se comenzó recopilando información cartográfica acerca de la zona selva de la provincia Marañón, desde datos que contengan información espacial como vías, ríos, área de conservación, bosque de producción permanente, ecosistemas

frágiles, concesiones forestales con fines maderables, centros poblados y límites políticos administrativos, entre otros.

b. Descarga de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales de Landsat 5 (2003), Landsat 8 (2013) y Sentinel-2 (2023) que fueron descargadas de la plataforma Google Earth Engine y PlanetScope, priorizando que las imágenes estén con mínima nubosidad (<10%). Asimismo, se seleccionaron imágenes de fechas similares dentro de la época seca, para evitar variaciones estacionales. Además, se consideró la resolución espacial, utilizando 30 m (Landsat), 10 m (Sentinel-2) y 3.8 m (PlanetScope), lo que permitió una mayor exactitud en la identificación.

c. Procesamientos de las imágenes satelitales

Para este paso se proyectó el sistema de coordenadas correspondientes al área de estudio, se colocan en una misma referencia espacial. Utilizando como base una imagen georreferenciada (proyección UTM, zona 18 sur y Datum WGS 1984) y ortorectificada. Para la transformación de coordenadas, se aplicó una matriz de transformación, empleando un polinomio lineal como modelo de ajuste y utilizando el método de remuestreo al “vecino más cercano” para imágenes Landsat.

Posteriormente se realizó diferentes manipulaciones digitales, combinación de bandas y procesamiento para mejorar y realzar la imagen. La corrección atmosférica y radiométrica en el software QGIS utilizando la herramienta “Plugin” Sem-Automatic Clasificación en las imágenes Landsat 5 (2003), Landsat 8 (2013), lo que permitió una mejor apariencia para la interpretación visual y la clasificación de las imágenes puedan ser las más adecuadas. Por otro lado, la imagen Sentinel-2 (2023) fueron descargadas en el nivel 1 y no fueron necesario las correcciones.

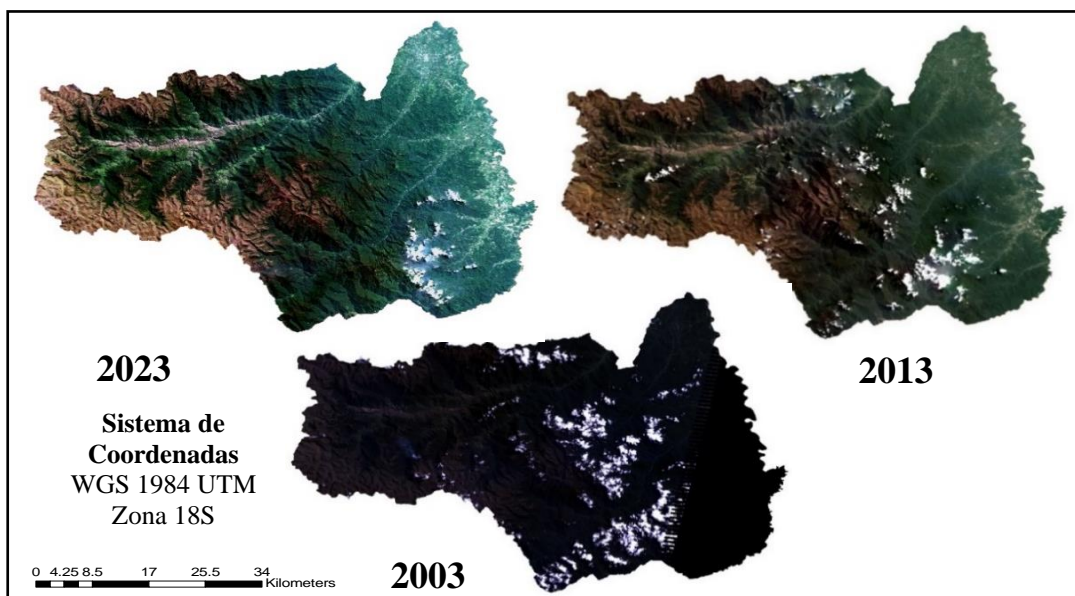


Figura 5. Imágenes satelitales del área de estudio para los años 2003, 2013 y 2023.

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales utilizadas para la clasificación.

Orden	Sensores	Fecha	Correlación atmosférica	Formato	Fuente
1	Sentinel 2	15 de octubre del 2023	No	Geo Tiff	Google Earth Engine
2	Landsat 8	18 de julio del 2013	Si	Geo Tiff	Google Earth Engine
3	Landsat 5	10 de septiembre 2003	Si	Geo Tiff	Google Earth Engine

d. Clasificaciones de las imágenes satelitales

Para ello, se llevó a cabo una clasificación supervisada empleando el software SAGA GIS, de acuerdo con lo propuesto por Conrad et al. (2015). Para este proceso se utilizó el algoritmo Random Forest con el objetivo de agrupar las áreas que presentaban similitudes espectrales. A cada uno de estos grupos se les asignó una clase específica de cobertura y uso del suelo. Basándose en la metodología de CORINE Land Cover adaptada para Perú (**Tabla 2**), tomando como referencia y establecida por MINAM (2014).

Tabla 2. Categorías identificadas para la investigación.

CORINE Land Cover adaptada para el Perú					
Nivel I	Nivel II	Nivel III	CUS		
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			
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	Áreas Agrícolas Heterogénea (AAH)		
		3.1.1. Bosque denso bajo		Bosque (BO)	
					3.1.2. Bosque abierto bajo
					3.1.3. Bosque denso alto
3.1.4. Bosque abierto alto	Vegetación secundaria o en transición	Vegetación secundaria (VS)			
			3.2.3. Vegetación secundaria o en transición		
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	Afloramientos Rocosos (AR)		
		3.3.2. Afloramientos Rocosos			
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	Cuerpos de agua (CA)		

Fuente: CORINE Land Cover

e. Corrección topológica

Las correcciones, son útiles para evaluar y detectar errores durante la digitalización o en la clasificación supervisada, que implica la conversión de datos ráster a vector. En el proceso de clasificación del cambio y uso del suelo, eliminando polígonos menores a 3 hectáreas, conforme a la Área Mínima Cartografiable (AMC) definida en varias escalas por Vargas (2002). Por lo tanto, algunas coberturas clasificadas en el estudio no cumplían con el AMC y no fueron eliminadas, como es el caso de zonas urbanas (polígonos menores a 0.5 hectáreas, ya que corresponden a centros poblados). Este procedimiento mejoró la calidad de la clasificación, ya que, tras la clasificación supervisada, los datos se encuentran en formato ráster y requieren ser convertidos a vector, lo cual puede introducir errores topológicos. Finalmente se elaboraron los mapas de los años 2003, 2013 y 2023.

f. Verificación de campo o validación

Las áreas o superficies de muestreos para la verificación en campo se determinaron teniendo en cuenta la accesibilidad y para ello se utilizó la red vial actual en la provincia. Una vez identificadas las áreas de uso en el gabinete, se realizó la identificación en campo, de esta manera las áreas se corrigen con la ayuda de puntos de control GPS y se prueban mediante un clasificador supervisado para seleccionar la discriminación de clases con mejor desempeño.

g. Exactitud temática para los mapas

Se abordó el desarrollo de matrices de confusión y el cálculo de medidas de exactitud, precisión y error. Según MINAM (2014), la evaluación de la exactitud temática en la validación de mapas se basa en tres aspectos: selección de áreas de referencia, diseño de muestreo y análisis de datos, lo que llevó a la creación de una matriz de confusión. En esta matriz, las filas representan las clases de referencia y las columnas las clases del mapa clasificado. Los valores en la diagonal indican coincidencias, mientras que los valores fuera de ella reflejan errores de clasificación (MINAM, 2014).

3.2.2.2. Determinación de los cambios de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 - 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

a. Matriz de transición

Para analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo a lo largo del tiempo, se utilizó un enfoque conocido como la matriz de transición con pérdidas y ganancias, propuesto por Pontius et al. (2004) y Falcón (2014). Esta matriz proporciona

información sobre la cantidad de superficie que se ha perdido o ganado al cambiar de una cobertura a otra. Además, también muestra cuánta superficie se ha mantenido de una cobertura o su uso original en una zona específica.

Falcón (2014) señala que estas matrices se generan al superponer al menos dos mapas de diferentes fechas, y luego se analizan en una estructura matricial. Este enfoque permite una identificación eficiente de los cambios entre las distintas categorías. La matriz se organiza de tal manera que las categorías de la fecha inicial (t1) se ubican en las filas, mientras que las categorías de la fecha final (t2) se colocan en las columnas. Como resultado, solo la diagonal de la matriz muestra la cantidad total que permanece constante, el resto de la matriz representa todas las posibles combinaciones de intercambio entre las categorías.

Tabla 3. Ganancias y pérdidas en la matriz de transición.

Ganancias y pérdidas en la matriz de transición.							
Tiempo 2							
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total: tiempo 2	Perdidas	
Tiempo 1	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: tiempo 2	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: Falcón (2014)

Según las propuestas de Pontius et al. (2014) sobre los índices de cambio en paisajes, se presentan los siguientes indicadores:

Ganancia (G_{ij}): Este índice indica la proporción del paisaje que aumentó entre dos fechas, t1 y t2. Se calculó restando la persistencia (P_{jj}) de la columna del total del tiempo 2 (P_{+j}):

$$G_{ij} = (P_{+j}) - (P_{jj})$$

Pérdida (L_{ij}): Representa la proporción que disminuyó entre las dos fechas. Se calculó restando la persistencia (P_{jj}) de la fila del total del tiempo 1:

$$L_{ij} = (P_{j+}) - (P_{jj})$$

Intercambio (S_j) entre categorías: Este concepto implica ganancias y pérdidas simultáneas de diferentes categorías en el paisaje cuando su ubicación

cambia entre dos fechas, pero su superficie se mantiene constante. Se calculó como el doble del valor mínimo entre las ganancias y pérdidas:

$$SJ = 2 \times \text{MIN} (P_{j+}) - P_{j'}, P_{j'} - P_{jj}$$

Persistencia (P_{ij}): Representa la cantidad de superficie que permanece constante durante los diferentes periodos de tiempo estudiados. Se obtuvo de la diagonal principal de la matriz.

Cambio total (DT_j): Es la suma de todas las proporciones del paisaje que experimentaron cambios entre las fechas estudiadas.

3.2.2.3. Determinación de la tasa de cambio de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Maraón

Se realizó calculando la tasa de cambio entre dos períodos de estudio utilizando la fórmula establecida por la FAO (1996):

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

Dónde:

tc = tasa de cambio (en expresada en porcentaje).

S1 = superficie en la fecha inicial.

S2 = superficie en la fecha final.

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

3.2.2.4. Estimación del grado de fragmentación de la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Maraón

a. Análisis de paisajes

Se utilizó el software Fragstats v4.2 (McGarigal et al., 2012) para realizar un análisis cuantitativo del paisaje, abordando dos enfoques: uno considera el paisaje natural como una unidad integral en la zona de estudio, y el otro se enfoca en su composición, analizando las categorías que lo conforman.

Las métricas utilizadas se aplicaron en ambos enfoques del análisis. Se estimaron tanto como la proporción correspondiente a cada clase dentro del paisaje, con el objetivo de evaluar los cambios cuantitativos ocurridos a lo largo de los periodos estudiados. Para analizar la estructura espacial en términos de fragmentación y conectividad, se seleccionaron 5 métricas, a nivel del paisaje y por clase:

- Número de parche (NP)
- Área de parche (AREA)
- Forma media (SHAPE)
- Distancia euclidiana al vecino más cercana (ENN)
- Media Fractal (FRAC_MN)

b. Numero de parche

Representa la cantidad total de fragmentos individuales de una misma clase de cobertura dentro del paisaje. Esta métrica no proporciona información sobre el tamaño o ubicación, sino es el indicador básico del nivel del fragmento y se utiliza como base para calcular otras métricas más complejas (McGarigal,2015).

c. Índice de forma media

Se utilizó para evaluar la complejidad de los fragmentos de cobertura boscosa dentro del área de estudio, en el contexto del análisis de fragmentación, propuesto por Patton (2007), permitiendo comparar la forma real de los parches con una forma geométrica estándar. A mayor irregularidad y longitud del borde, mayor será el valor del índice; para el cálculo de este índice, se aplica la ecuación:

$$DI = \frac{P}{2*\sqrt{3.1416*√A}}.....(2)$$

Donde:

A= Área de cada fragmento (m²)

P= Perímetro de cada fragmento (m)

Los resultados se compararon con la siguiente tabla:

Tabla 4. Clasificación de las formas de los fragmentos.

Forma	Índice (D.I)
Redondo	< 1,25
Oval-redondas	1,25 ≤ 1,50
Oval-oblongo	1,50 ≤ 1,75
Rectangular	1,76 ≤ 2
Amorfo o irregular	> 2

Fuente: Patton (2007)

d. Distancia euclidiana al vecino más cercana

Esta métrica se refiere a la distancia entre el centro de un parche y el centro del parche más próximo, sin importar si pertenece a la misma clase de cobertura. Es un indicador clave para evaluar el grado de aislamiento entre fragmentos da hábitat, lo cual

influye directamente a la dinámica de las poblaciones y en la conservación de especies en riesgo (Turner et al.,2023).

e. Índice fractal medio

Es una métrica utilizada para evaluar la complejidad de los bordes y la forma de los fragmentos de un paisaje. Describe cuan irregular o complejos son los bordes de los fragmentos en relación con una forma geométrica estándar. Se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$FRAC = \frac{2 \cdot \ln(P)}{\ln(A)} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

P: Perímetro del fragmento

A: Área de fragmento

f. Grado de fragmentación

Luego, se procedió a estimar el grado total de fragmentación del bosque, según Lozano et al., (2011) se calculó la relación entre el área total del bosque y el área total fragmentada utilizando la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\text{área de bosque (ha)}}{\text{área total (ha)}} \dots\dots\dots(4)$$

Los resultados se compararon con la siguiente tabla:

Tabla 5. Valores de referencia para el índice de fragmentación.

Rangos F	Grado de fragmentación
F = 1	Sin fragmentación
F = <1 ≤ 0,7	Fragmentación moderada
F = 0,7 ≤ 0,5	Altamente fragmentado
F = < 0,5	Insularizado

Fuente: Lozano et al., (2011)

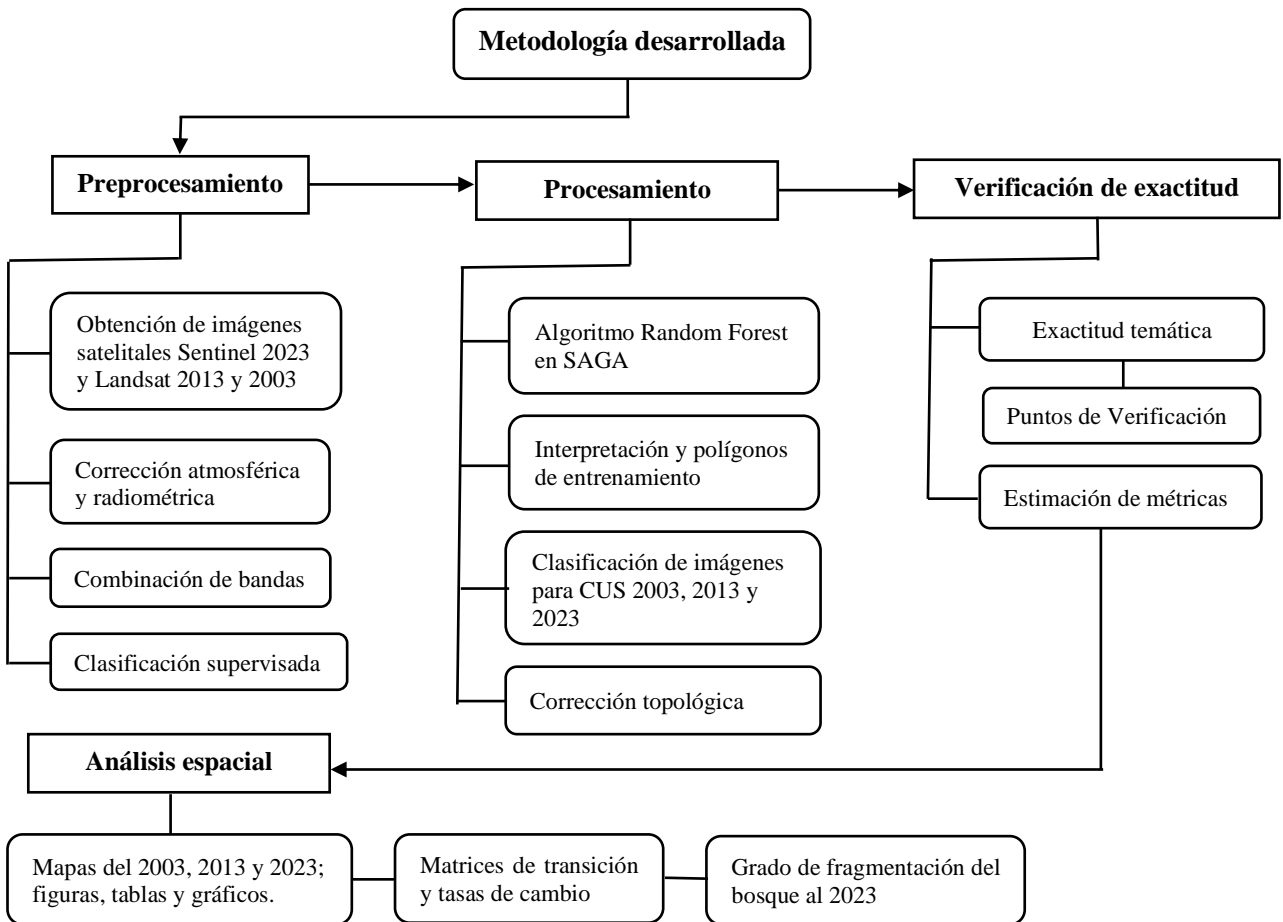


Figura 6. Flujograma metodológico.

3.2.3. Componentes de la investigación

a. Tipo de investigación

Es de tipo Aplicada, ya que analiza los cambios de la cobertura y uso del suelo en la zona selva de la provincia Maraón para comprender los procesos de fragmentación del paisaje (Hernández et al., 2014).

b. Nivel de investigación

Es de nivel descriptivo – cuantitativo, por lo que se centra en describir y cuantificar la cobertura y uso del suelo de los años, como también los cambios espaciales y temporales en el paisaje mediante el análisis de datos geoespacial.

c. Diseño de investigación

El diseño adoptado es No experimental – longitudinal, porque no se manipulan variables, sino que se observan y analizan los datos existentes. y porque se estudian los cambios a lo largo del tiempo en una misma área, de los años 2002, 2013 y 2023.

d. Variables de estudio

Tabla 6. Variables de estudio.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Fragmentación	Espacial	Cambios de coberturas	ha, %
	Temporal	Tasa de deforestación	ha/año, %/ha
	Grado de fragmentación	Métricas del paisaje	Varios

e. Población y Muestra

La población del estudio corresponde a la provincia Marañón, región de Huánuco, conformado por cinco distritos. **La muestra** se centró en la zona selva de la provincia, abarcando los distritos de Cholón, La Morada y Santa Rosa de Alto Yanajanca. Debido a su alta representatividad ecológica y su elevada cobertura boscosa. Al analizar el 100% de esta área, se aplicó un enfoque censal sobre la muestra definida.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

En la zona selva de la provincia Marañón, tiene una extensión total de 415 575,76 ha, de acuerdo con el análisis espacial realizado se ha calculado la cobertura y uso del suelo dando como resultado lo siguiente:

En **2003**, el Bosque fue la cobertura dominante con 314 090,01 ha, seguido por Áreas Agrícolas Heterogéneas abarcaban 11 003,90 ha, y las zonas urbanas eran mínimas, con solo 451,87 ha. Seguido del **2013**, el Bosque disminuyó a 308 177,61 ha, mientras que las Áreas Agrícolas Heterogéneas aumentaron a 15 872,57 ha y las Zonas Urbanas crecieron en 597,32 ha. Finalmente, para **2023** el Bosque continuó su descenso con 301 813,37 ha. Las Áreas Agrícolas Heterogéneas se expandieron en 21 292,51 ha, mientras que las Zonas Urbanas aumentaron a 714,84 ha. Por lo tanto, entre 2003 y 2023, la cobertura forestal en la zona selva disminuyó del 75,58% al 72,63%, indicando la presión de los bosques (**Tabla 7 y Figura 7**).

De acuerdo con MINAM (2023), entre los años 2001 y 2023, la región Huánuco ha experimentado pérdida en su cobertura forestal, acumulando una disminución de 399 654 ha de bosque amazónico y en el distrito de Marañón con una pérdida total de 26 669 ha. Esta reducción se debe principalmente a las actividades humanas que modifican la cobertura terrestre, como la ocupación ilegal de terrenos y el cambio en el uso del suelo. Asimismo, Alegre (2017) afirma que el cambio de cobertura está vinculado directamente a la deforestación y la degradación del suelo ambos impulsados por las acciones humanas y fenómenos naturales, esta situación evidencia la pérdida sobre los ecosistemas forestales.

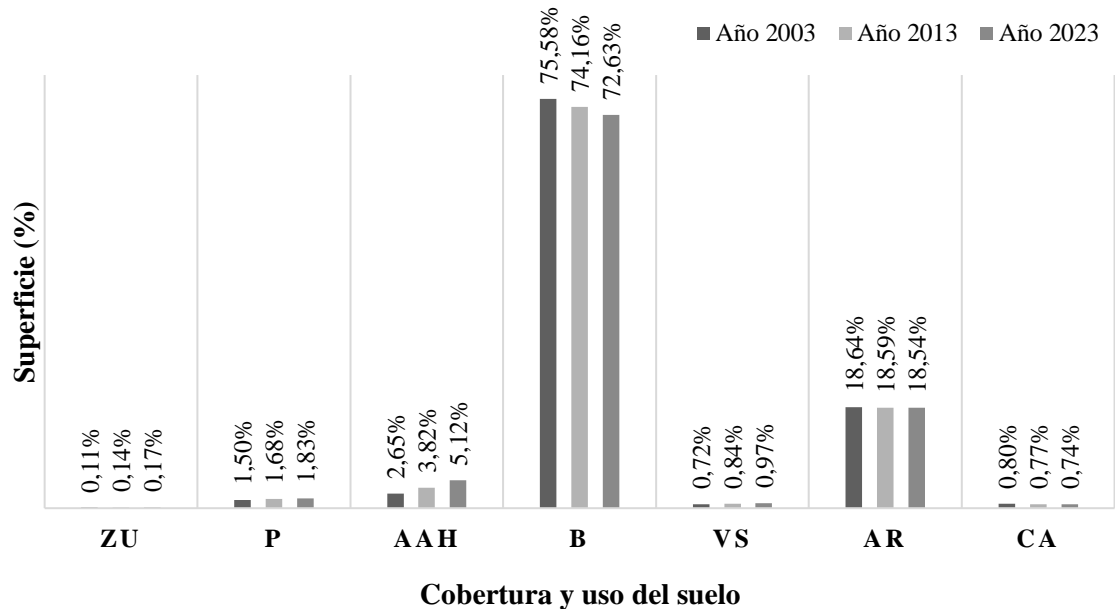
De manera similar, las actividades humanas como la agricultura intensiva y la explotación de los recursos naturales afectan de manera negativa el medio ambiente y, a largo plazo, podrían perjudicar a las comunidades humanas. Como menciona Porras (2019) la explotación y la degradación de la tierra no solo impactan la biodiversidad y la calidad del suelo, sino también erosionan los servicios ecosistémicos que las personas dependen de la naturaleza, comprometiendo así el bienestar de las generaciones futuras, la conversión de los bosques en terrenos agrícolas o ganaderos, especialmente a través de la agricultura migratoria, se presenta como una de las principales causas de la deforestación, lo que limitan las posibilidades de conservación de estos recursos naturales vitales.

La región Huánuco, rica en biodiversidad es un claro ejemplo de la diversidad ecológica de la Amazonia, al albergar 16 tipos de formaciones vegetales, que incluyen chacras, pastizales, bosques inundables y bosques tropicales, entre otros. Según GOREHCO (2018),

posee una elevada concentración de bosques húmedos, que son principalmente utilizados para la explotación maderable, aunque también se observa una pequeña área de bosque primarios. Esta realidad indica la riqueza natural de la región y al mismo tiempo, la creciente presión ejercida por las actividades humanas sobre estos ecosistemas, lo cual refleja también las pérdidas de bosque identificadas en esta investigación.

Tabla 7. Cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023.

ID	Ctg.	Cobertura y uso del suelo	Año 2003		Año 2013		Año 2023	
			Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	ZU	Zonas Urbanas	451,87	0,11%	597,32	0,14%	714,84	0,17%
2	P	Pasto	6 253,65	1,50%	6 985,09	1,68%	7 611,53	1,83%
3	AAH	Áreas Agrícolas Heterogénea	11 003,90	2,65%	15 872,57	3,82%	21 292,51	5,12%
4	B	Bosque	314 090,01	75,58%	308 177,61	74,16%	301 813,37	72,63%
5	VS	Vegetación Secundaria	2 999,19	0,72%	3 502,39	0,84%	4 030,55	0,97%
6	AR	Afloramientos Rocosos	77 456,88	18,64%	77 250,50	18,59%	77 041,40	18,54%
7	CA	Cuerpos de agua	3 320,27	0,80%	3 189,88	0,77%	3 071,53	0,74%
Total:			415 575,76	100,00%	415 575,76	100,00%	415 575,76	100,00%



ZU=Zonas Urbanas	P=Pasto	AAH=Áreas Agrícolas Heterogénea	B=Bosque	VS=Vegetación Secundaria	AR=Afloramientos Rocosos	CA=Cuerpos de agua
------------------	---------	---------------------------------	----------	--------------------------	--------------------------	--------------------

Figura 7. Cobertura y uso del suelo en porcentaje (%) de los años 2003, 2013 y 2023.

Para validar el mapa de cobertura y uso del suelo del 2023, se presenta la **Tabla 8**, donde se calculó el número de cada área de referencia en función de su superficie total. La evaluación muestra una precisión global del 89,6% y un índice Kappa de 0,86, lo que indica

una alta concordancia entre el mapa generado y los puntos de referencia validados en campo, estos resultados reflejan la confiabilidad del proceso de clasificación.

Tabla 8. Matriz de confusión para el mapa de cobertura boscosa y uso del suelo del año 2023.

		Resultado de validación de campo								Exactitud usuario	Error de omisión
Ctg.	ZU	P	AAH	B	VS	ZPV	CA	Total			
Resultados de clasificación	ZU	9	1	0	0	0	0	0	10	0,9	0,1
	P	0	10	0	0	0	0	0	10	1	0
	AAH	0	1	44	0	0	0	0	45	0,98	0,02
	B	0	2	0	17	0	0	0	19	0,89	0,11
	VS	0	0	0	2	7	0	0	9	0,78	0,22
	ZPV	0	0	0	0	0	9	0	9	1	0
	CA	0	0	0	3	3	0	8	14	0,57	0,43
	Total	9	14	44	22	10	9	8	116		
Exactitud, productor	1	0,71	1	0,77	0,7	1	1		Exactitud Global= 89,6 %		
Error omisión	0	0,29	0	0,23	0,3	0	0		Índice Kappa = 0,86		

Conforme a los datos del GOREHCO (2018), Huánuco cuenta con un total de 3 706 969,35 ha de bosque, de los cuales el 17,6% está destinado a la protección de bosques nubosos, mientras que solo el 0,5% se utiliza para actividades como el pastoreo, cultivos en limpio y la protección forestal, a pesar de la existencia de estas áreas protegidas, la expansión de la actividad agropecuaria continúa siendo una de las principales amenazas para la cobertura forestal. Según el INEI (2019), el 12,6% del territorio nacional está dedicado a la actividad agropecuaria, destacando Huánuco como uno de los departamentos con mayor extensión de las tierras destinadas a esta actividad con 1 349 100 ha trabajadas en 2019.

Finalmente, se identificó que las principales causas de la pérdida y deterioro de la cobertura vegetal, en la provincia Marañón están asociadas al cultivo de pasto para animales, la expansión de cultivos comerciales como la palma aceitera y arroz, la agricultura migratoria y la explotación maderables para fines comerciales (GOREHCO, 2018). Teniendo concordancias con los resultados de la investigación, dado que las categorías como áreas agrícolas heterogéneas y pasto, presentaron una expansión significativa durante el periodo de análisis. Estas actividades no solo impulsan la deforestación, sino que también intensifica la fragmentación del paisaje y afectando la conectividad de los ecosistemas.

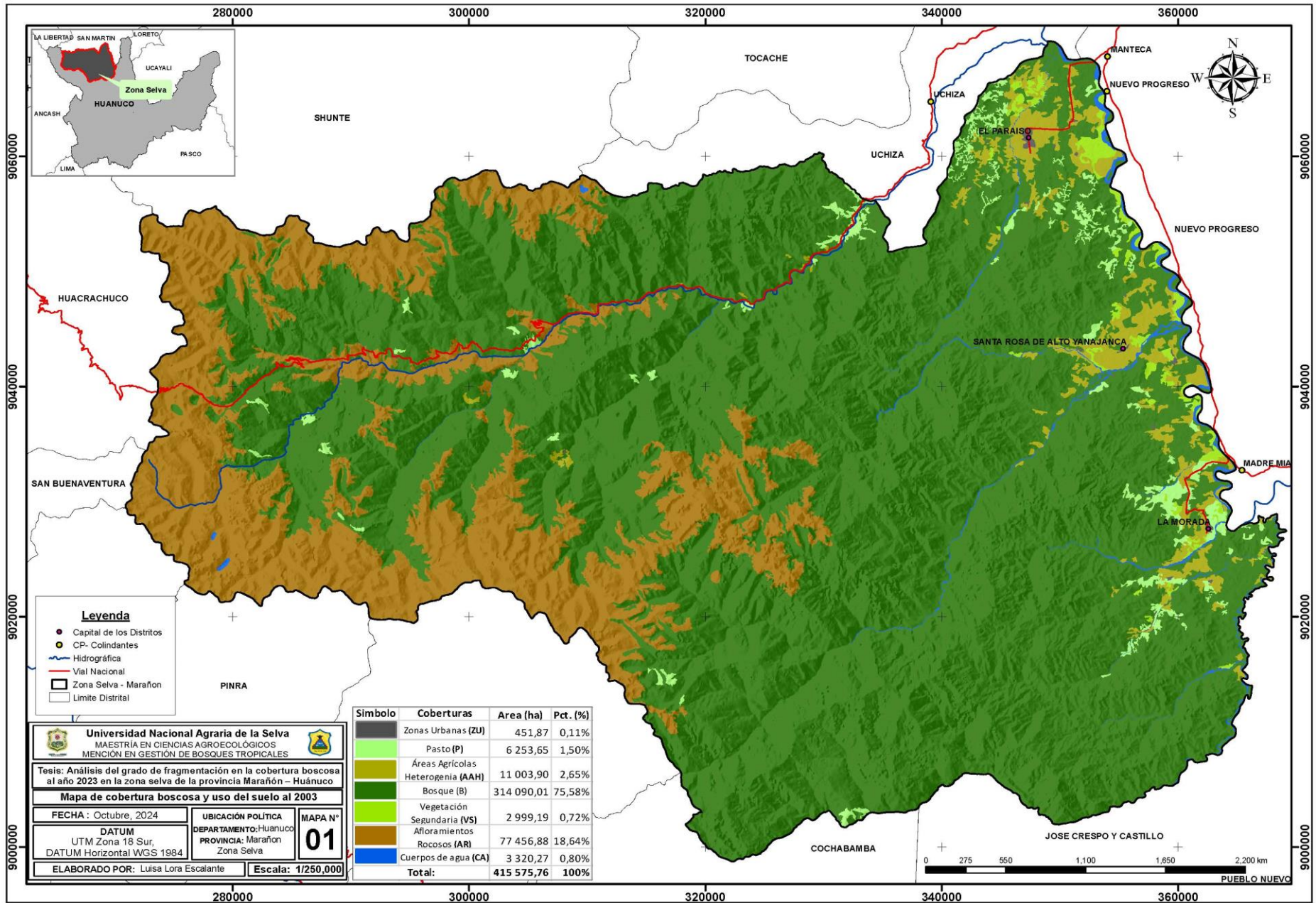


Figura 8. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo del 2003 de la provincia Marañón, Huánuco.

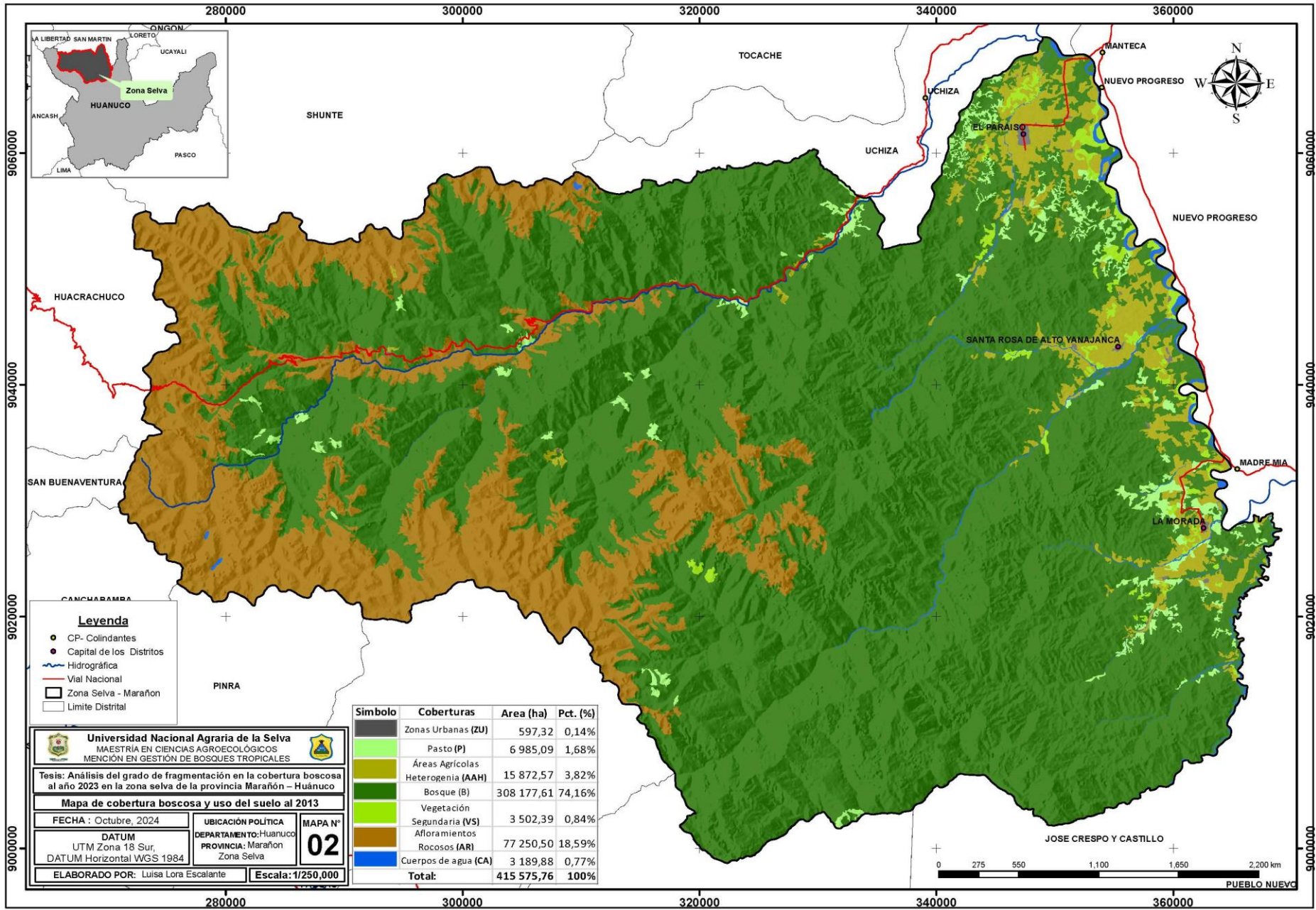


Figura 9. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo del 2013 de la provincia Marañón, Huánuco.

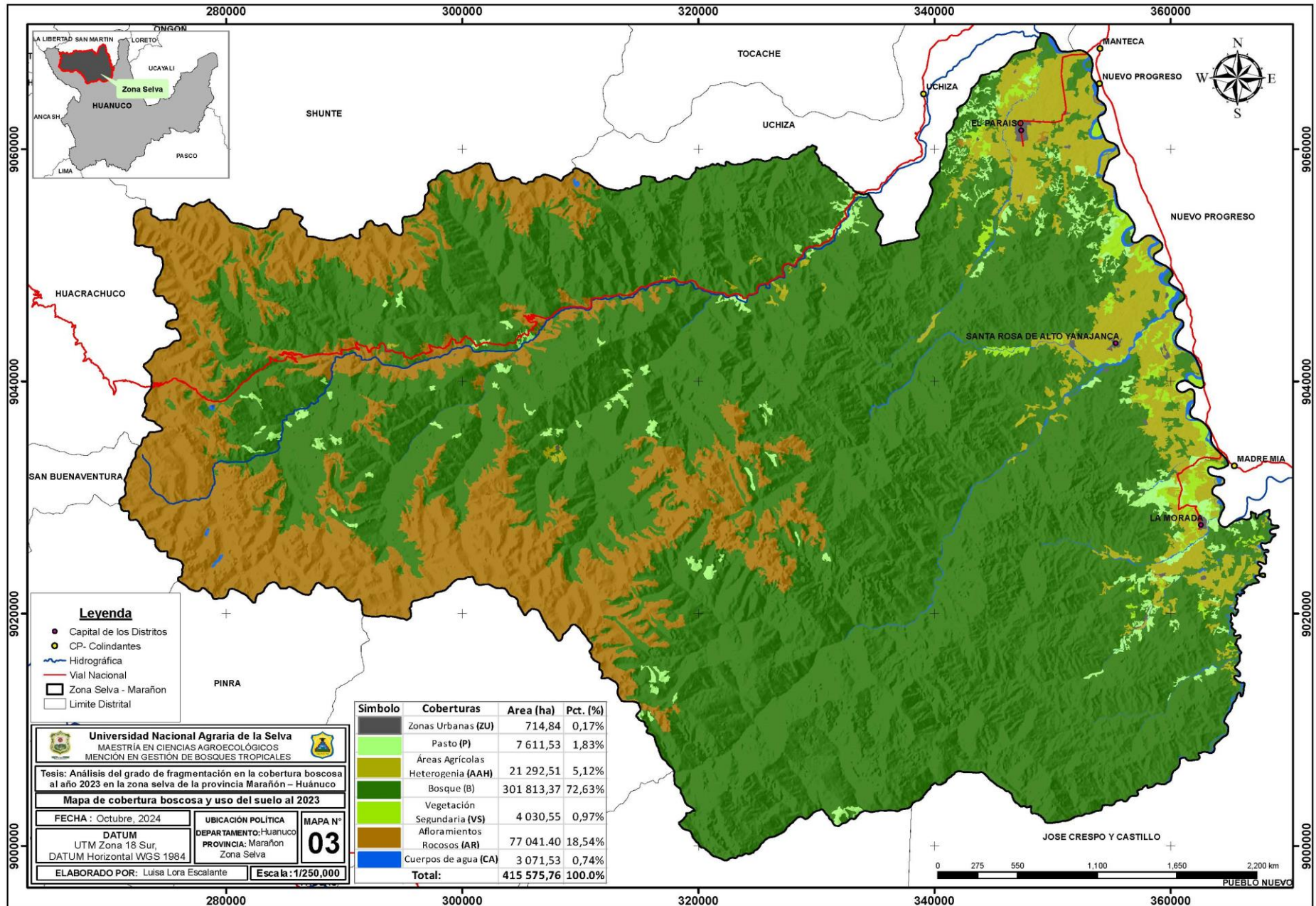


Figura 10. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo del 2023 de la provincia Marañón, Huánuco.

4.2. Cambios de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Maraón

4.2.1. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2013

Entre 2003 y 2013, hubo un incremento notable en las categorías en la parte selva. Las Zonas Urbanas con 145,45 ha, Pasto mostró una expansión significativa de 731,44 ha, las Áreas Agrícolas Heterogéneas experimentaron el mayor incremento, con 4 868,67 ha adicionales. Así como, Vegetación Secundaria creció en 503,20 ha.

Indicado, que algunas categorías mostraron disminuciones durante el mismo periodo. La cobertura de Bosque disminuyó en 5 912,40 ha, indicando una significativa pérdida de áreas forestales. Las Afloramientos Rocosos se redujeron en 206,38 ha. mientras que los Cuerpos de Agua sufrieron menos pérdida de 130,39 ha, debido al cambio climático, con menos lluvias y mayor evaporación, lo que influye la reducción (**Tabla 9 y Figura 11**).

Tabla 9. Cambio de cobertura y uso del suelo en hectáreas del periodo 2003 – 2013.

Cobertura y uso del suelo	Ctg.	2003-2013		Cambio (ha)	Descripción
		Área (ha)	Área ha		
Zonas Urbanas	ZU	451,87	597,32	145,45	Incrementó
Pasto	P	6 253,65	6 985,09	731,44	Incrementó
Áreas Agrícolas Heterogénea	AAH	11 003,90	15 872,57	4 868,67	Incrementó
Bosque	B	314 090,01	308 177,61	-5 912,40	Disminuyó
Vegetación Secundaria	VS	2 999,19	3 502,39	503,20	Incrementó
Afloramientos Rocosos	AR	77 456,88	77 250,50	-206,38	Disminuyó
Cuerpos de agua	CA	3 320,27	3 189,88	-130,39	Disminuyó
Total:		415 575,76	415 575,76		

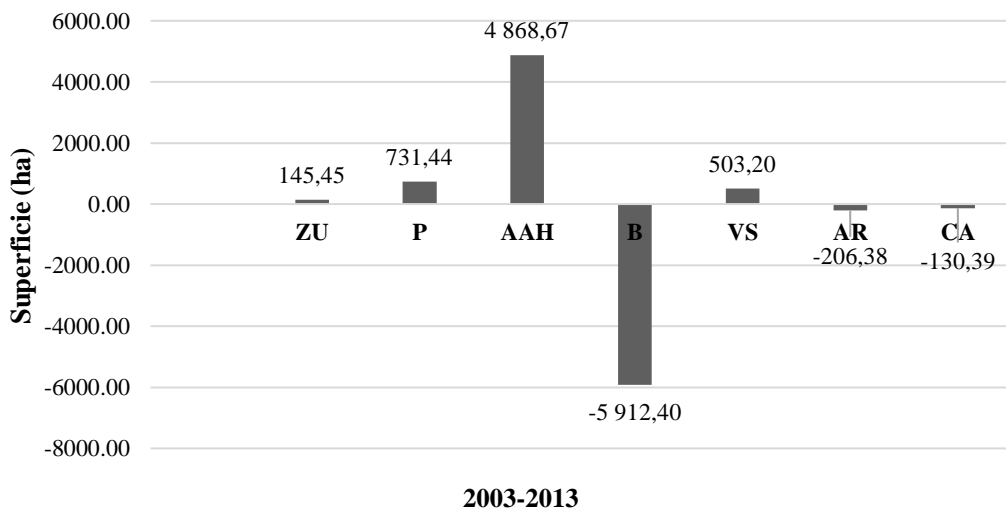


Figura 11. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2013.

4.2.2. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2013 – 2023

Entre 2013 y 2023, algunas categorías de uso del suelo experimentaron un incremento en la zona selva. Las Zonas Urbanas crecieron en 117,51 ha, Pasto aumentó en 626,45 ha, Las Áreas Agrícolas Heterogéneas mostraron un crecimiento de 5 419,94 ha, Además, la Vegetación Secundaria se incrementó en 528,16 ha.

Por otro lado, disminuyeron en otras categorías. La cobertura de Bosque disminuyó en 6 364,24 ha, lo que indica pérdida de áreas forestales. Los Afloramientos rocosos se redujeron en 209,10 ha, y los Cuerpos de Agua sufrieron una menor disminución de 118,35 ha, posiblemente debido a factores como el desvío de agua para la agricultura o el cambio climático, como se observó en la **Tabla 10** y **Figura 12**.

Tabla 10. Cambio de cobertura y uso del suelo en hectáreas del periodo 2013 – 2023.

Cobertura y uso del suelo	Ctg.	2013-2023		Cambio (ha)	Descripción
		Área ha	Área ha		
Zonas Urbanas	ZU	597,32	714,84	117,51	Incrementó
Pasto	P	6 985,09	7 611,53	626,45	Incrementó
Áreas Agrícolas Heterogénea	AAH	15 872,57	21 292,51	5 419,94	Incrementó
Bosque	B	308 177,61	301 813,37	-6 364,24	Disminuyó
Vegetación Secundaria	VS	3 502,39	4 030,55	528,16	Incrementó
Afloramientos Rocosos	AR	77 250,50	77 041,40	-209,10	Disminuyó
Cuerpos de agua	CA	3 189,88	3 071,53	-118,35	Disminuyó
Total:		415 575,76	415 575,76		

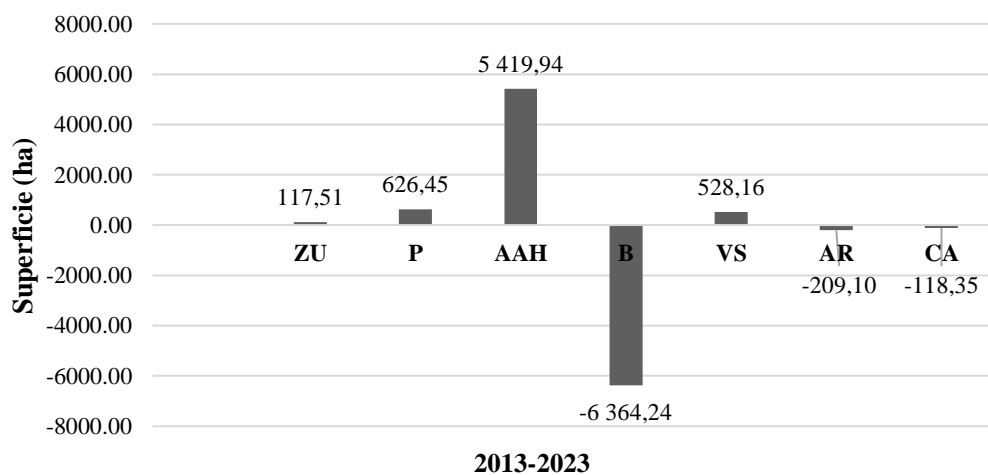


Figura 12. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2013 – 2023.

4.2.3. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2023

Durante el periodo de 20 años de 2003 a 2023, en la zona selva. Las Zonas Urbanas incrementaron en 262,96 ha, Pasto también aumentó en 1 357,89 ha. Las Áreas

Agrícolas Heterogéneas experimentaron un notable incremento de 10 288,61 ha, La Vegetación Secundaria también creció en 1 031,36 ha.

Asimismo, la cobertura de Bosque sufrió una reducción de 12 276,64 ha, lo que evidencia una pérdida de áreas forestales a lo largo de estas dos décadas. Los Afloramientos rocosos y Cuerpos de Agua disminuyeron 415,47 y 248,74 respectivamente (Tabla 11 y Figura13).

Tabla 11. Cambio de cobertura y uso del suelo en hectáreas del periodo 2003 – 2023.

Cobertura y uso del suelo	Ctg.	2003-2023		Cambio (ha)	Descripción
		Área ha	Área ha		
Zonas Urbanas	ZU	451,87	714,84	262,96	Incrementó
Pasto	P	6 253,65	7 611,53	1 357,89	Incrementó
Áreas Agrícolas Heterogénea	AAH	11 003,90	21 292,51	10 288,61	Incrementó
Bosque	B	314 090,01	301 813,37	-12 276,64	Disminuyó
Vegetación Secundaria	VS	2 999,19	4 030,55	1 031,36	Incrementó
Afloramientos Rocosos	AR	77 456,88	77 041,40	-415,47	Disminuyó
Cuerpos de agua	CA	3 320,27	3 071,53	-248,74	Disminuyó
Total:		415575,76	415575,76		

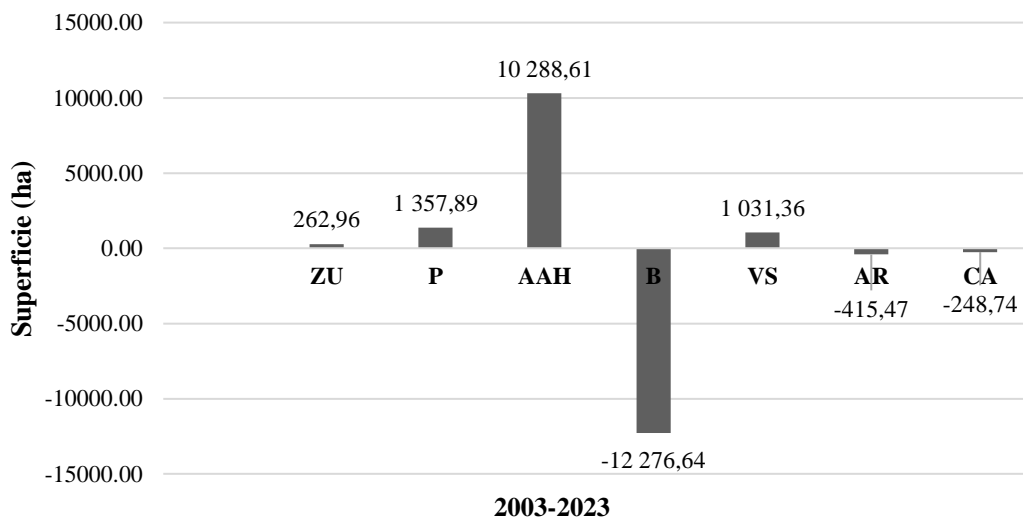


Figura 13. Cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2003 – 2023.

Según MINAM (2023), entre los años 2003 – 2013, la pérdida acumulada de bosque amazónico en Marañón alcanzó un total de 11 533 ha. Durante esta década, el impacto se intensificó en los años siguientes, con picos importantes en 2005 (1 613 ha), 2012 (1 562 ha) y 2010 (1 512 ha), que representan los mayores valores en este periodo. Asimismo, entre 2013 – 2023, el total acumulado fue de 15 136 ha, superando al periodo anterior. En esta década, se registró un patrón fluctuante, reflejando mayor impacto en los años 2016 (1 691 ha),

2014 (1 639 ha) y 2015 (1 539 ha). Y obteniendo como resultado final entre 2003 –2023 con un total de 26 669 ha, obtenido concordancia con los resultados de la presente investigación, donde la deforestación durante estas dos décadas resalta la presión constante sobre los ecosistemas forestales, principalmente atribuida a actividades humanas como la expansión agrícola y la ganadería.

En este contexto, este trabajo también coincide con la investigación de Romero (2019), quien destaca la relación entre la expansión agrícola y diversos factores como la falta de gobernanza forestal, la pobreza y la migración. Además, identifiqué que el aumento de los precios de los productos agropecuarios y la promoción de cultivos como café, cacao, palma aceitera y arroz han sido elementos clave que impulsan la conversión de áreas forestales en terrenos agrícolas. Esto evidencia como las dinámicas socioeconómicas afectan directamente la gestión y conservación de los bosques.

De igual manera, Bodo et al., (2021) señala que, los fenómenos naturales como incendios forestales, sequías, especies invasoras, inundaciones y cambio climático contribuyen a la deforestación y la pérdida de hábitat, aun así, los principales factores desencadenantes son las actividades humanas. Entre las causas antrópicas más relevantes se encuentran la expansión agrícola, la ganadería intensiva, tala de madera, la minería, y el desarrollo de infraestructura, estas actividades reflejan una pérdida significativa sobre los ecosistemas, contribuyendo de forma decidida a su deterioro.

4.2.4. Matriz de transición del periodo 2003-2023.

La **Tabla 12** presenta la matriz de transición de cobertura y uso del suelo para el periodo 2003-2023, expresada en hectáreas. Esta tabla detalla las pérdidas y ganancias en las distintas categorías, ilustrando cómo las áreas han cambiado durante este periodo de 20 años. La diagonal de la matriz representa las áreas que no han sufrido cambios, mientras que los valores fuera de la diagonal reflejan las transiciones entre categorías.

La matriz de transición muestra una significativa transformación en el uso del suelo en un lapso de 20 años. La mayor pérdida se observa en la categoría de Bosque, con 14 810,47 ha transformadas, seguida por los Pastos con 1 480,39 ha, y la Vegetación Secundaria con 1,759.33 ha. Por otro lado, Pastos tuvo la mayor ganancia, con 11 768,99 ha, mientras que las Áreas Agrícolas Heterogéneas y la Vegetación Secundaria incrementaron en 2 705,32 ha y 2 790,68 ha, respectivamente. Las Zonas Urbanas crecieron moderadamente con 268,90 ha, y los Afloramientos rocosos y los Cuerpos de Agua también registraron ligeras ganancias, con 371,59 ha y 787,97 ha, respectivamente. Estos cambios reflejan una tendencia hacia la expansión de las áreas agrícolas y de pastizales, junto a pérdidas de áreas forestales.

Tabla 12. Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2003-2023.

Ctg.	2023							Área total 2003 (ha)	Pérdida
	ZU	AAH	P	B	VS	AR	CA		
ZU	445,93	0,00	1,47	0,81	3,64	0,00	0,00	451,87	5,94
AAH	45,39	4 906,21	594,52	594,16	78,76	27,99	6,62	6 253,64	1 347,43
P	131,46	133,93	9 523,50	688,82	374,84	7,43	143,90	11 003,89	1 480,39
B	78,90	2 395,63	9 501,32	29 9279,38	2 130,31	283,69	420,62	314 089,85	14 810,47
VS	12,56	43,76	1 297,93	213,10	1 239,86	0,42	191,56	2 999,19	1 759,33
AR	0,59	70,24		690,97		76 669,81	25,27	77 456,88	787,07
CA	0,00	61,75	373,75	346,01	203,13	52,07	2 283,50	3 320,20	1 036,71
Área total 2023 (ha)	714,84	7 611,53	21 292,50	30 1813,26	4 030,53	77041,40	3 071,47		415 575,76
Ganancia	268,90	2 705,32	11 768,99	2 533,88	2 790,68	371,59	787,97		

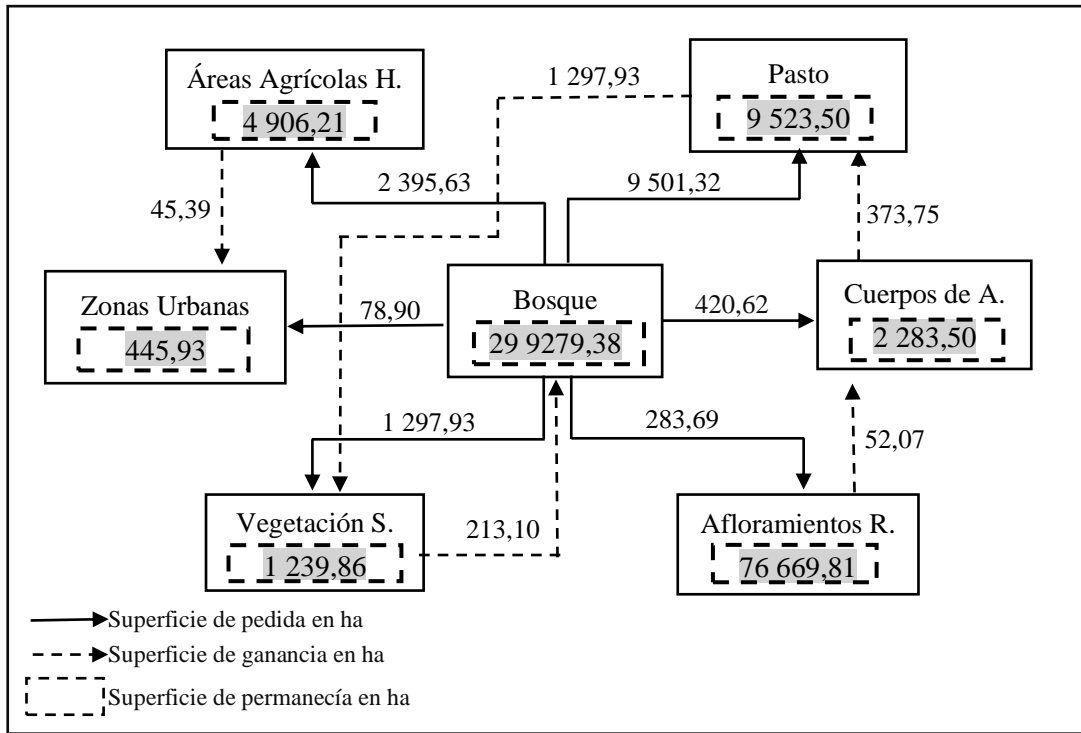


Figura 14. Representación de cambio de cobertura y uso suelo del 2003-2023.

La **Figura 14** muestra un análisis en el cambio del uso del suelo, durante el periodo 2003 – 2023, clasificándolos en tres categorías: pérdida, ganancia y permanencia de cobertura. Representas en hectáreas donde se ha reducido la cobertura boscosa, y se ha incrementado y mantenido estable. Este análisis apoya el objetivo del estudio al identificar patrones en la dinámica del paisaje durante las dos décadas.

Cabe mencionar que, Pontius et al. (2004) refiere que las matrices de transición son esenciales para analizar cambios en el uso del suelo, cuantificando pérdidas, ganancias y áreas sin cambios. Estas matrices permiten identificar patrones y dinámicas como la conversión de bosques a tierras agrícolas o urbanas, brindando una visión integral del paisaje.

Al respecto, Toribio (2016) concluye que en las matrices de transición para el periodo 2000-2015, evidenciaron la conversión de 6 430 ha de bosque a usos agrícolas y urbanos, mientras que 2 110 ha regresaron a vegetación secundaria bajo prácticas de manejo sostenible. Estas matrices fueron fundamentales para modelar escenarios futuros, demostrando la importancia de conservación para mitigar las pérdidas proyectadas hacia el año 2025.

Adicionalmente, Smith (2023) señala que las matrices de transición para el periodo 2000-2020 mostraron una pérdida de 817 13 ha de bosque y un incremento de 440 03 ha en áreas agrícolas. Estas transiciones indica el avance de la frontera agrícola y la reducción de áreas forestales. Los datos se obtuvieron utilizando simulaciones con Dinámica EGO, que también proyectaron escenarios futuros con variaciones significativas en estas categorías bajo diferentes escenarios de manejo.

Finalmente, Lora (2023) indica que las matrices de transición para el periodo 2000-2022, identificando la conversión de 28 223,43 ha de bosque hacia usos de no bosque, principalmente actividades agrícolas, mientras que las áreas con vegetación secundaria se incrementaron en 5 412 ha. Este análisis sirvió de base para proyecciones al 2032, evidenciando un aumento constante de la deforestación bajo escenarios tendenciales. Concluyendo que, los resultados obtenidos en esta investigación reflejan una dinámica acelerada de deforestación y conversión de usos del suelo, reforzando y concordando la idea de que las actividades humanas continúan siendo el principal motor del cambio en el uso del suelo, con impactos significativos en la cobertura forestal.

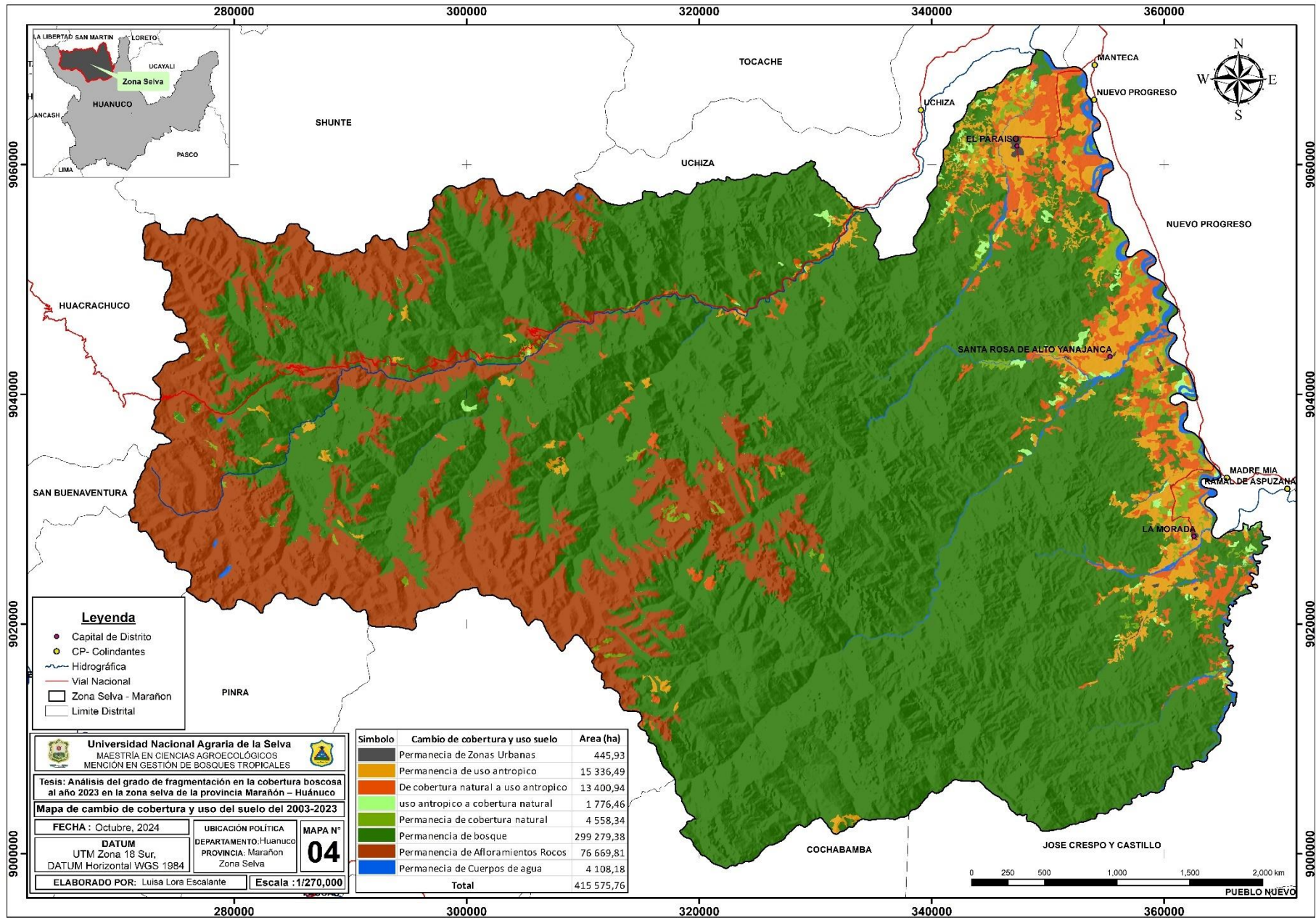


Figura 15. Mapa de cambio de cobertura y uso del suelo del 2003 al 2023 de la provincia Marañón, Huanuco.

4.3. Tasa de cambio de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Maraón

Al calcular la tasa de cambio porcentual y la media anual en hectáreas, se observan importantes variaciones en la cobertura y uso del suelo en la zona selva, durante los períodos 2003, 2013 y 2013. Un valor negativo indica una reducción en la cobertura, mientras que un valor positivo refleja un incremento.

Durante los 20 años evaluados, las Zonas Urbanas muestran un crecimiento de 13,15 ha/año, los Pastos y Vegetación Secundaria también presentan un incremento de 67,89 y 51,57 ha/año respectivamente, mostrando un aumento moderado. Igualmente, las Áreas Agrícolas Heterogéneas se expandieron considerablemente, alcanzando un crecimiento de 514,43 ha/año, lo que indica la creciente intensificación agrícola.

Por lo tanto, Bosque sufrió la mayor pérdida, con una reducción promedio de 613,83 ha/año, los Afloramientos Rocosos experimentaron una ligera disminución, equivalente a una pérdida de 20,77 ha/año. De igual manera, los Cuerpos de Agua también mostraron una reducción, perdiendo 12,44 ha/año en promedio (**Tabla 13**).

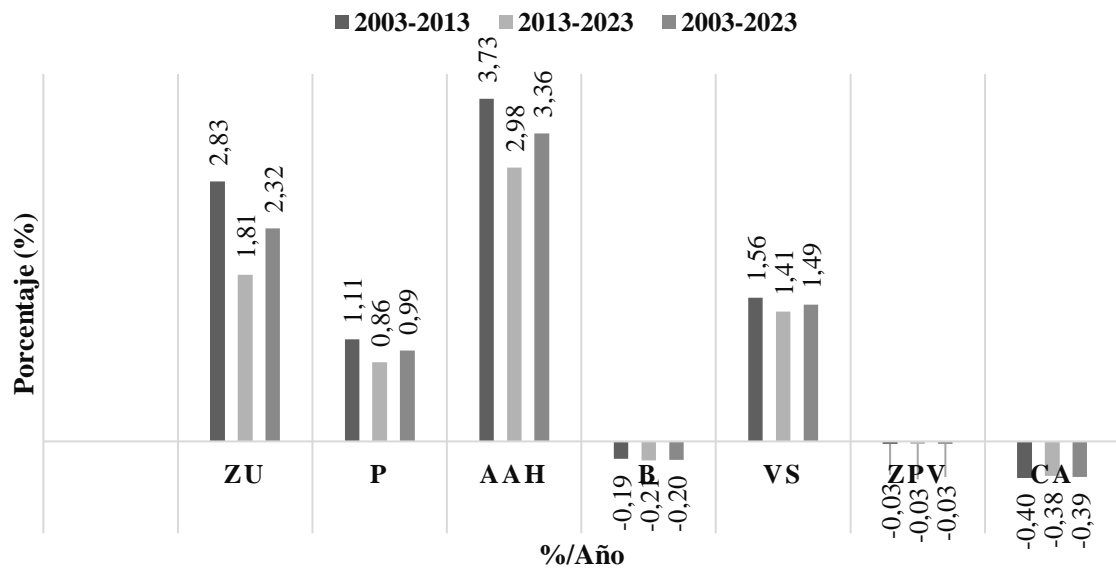
Tabla 13. Tasa de cambio de cobertura y uso del suelo del 2003 al 2023.

Cobertura y uso del suelo	Ctg.	2003-2013		2013-2023		2003-2023	
		%/año	ha/año	%/año	ha/año	%/año	ha/año
Zonas Urbanas	ZU	2,83	14,55	1,81	11,75	2,32	13,15
Pasto	P	1,11	73,14	0,86	62,64	0,99	67,89
Áreas Agrícolas Heterogénea	AAH	3,73	486,87	2,98	541,99	3,36	514,43
Bosque	B	-0,19	-591,24	-0,21	-636,42	-0,20	-613,83
Vegetación Secundaria	VS	1,56	50,32	1,41	52,82	1,49	51,57
Afloramientos Rocosos	AR	-0,03	-20,64	-0,03	-20,91	-0,03	-20,77
Cuerpos de agua	CA	-0,40	-13,04	-0,38	-11,83	-0,39	-12,44

La **Figura17** muestra la concentración de pérdida de bosques en la zona selva. Las áreas afectadas se categorizan en cinco niveles: baja, media, alta, muy alta y extremadamente alta, representados por una escala cromática que va del verde (pérdida baja) al rojo (pérdida extremadamente alta), permitiendo identificar visualmente la severidad de la deforestación en distintas zonas.

En el periodo 2003-2023, los datos más relevantes muestran un crecimiento notable en las Áreas Agrícolas Heterogéneas con una tasa acumulada de 3,36%/año, mientras que las Zonas Urbanas incrementaron un 2,32%/año. Además, los Bosques sufrieron una

pérdida constante de $-0,20\%/año$, y los Cuerpos de Agua también disminuyeron con una tasa de $-0,39\%/año$ (**Figura 16**).



ZU=Zonas Urbanas	P=Pasto	AAH=Áreas Agrícolas Heterogénea	B=Bosque	VS=Vegetación Secundaria	AR=Afloramientos Rocosos	CA=Cuerpos de agua
------------------	---------	---------------------------------	----------	--------------------------	--------------------------	--------------------

Figura 16. Cambio en $\%/año$ de la cobertura y uso del suelo del 2003 al 2023.

La **Figura17** muestra la concentración de pérdida de bosques en la zona selva. Las áreas afectadas se categorizan en cinco niveles: baja, media, alta, muy alta y extremadamente alta, representados por una escala cromática que va del verde (pérdida baja) al rojo (pérdida extremadamente alta), permitiendo identificar visualmente la severidad de la deforestación en distintas zonas.

De acuerdo, con el 2018 Huánuco reportó una pérdida de 16 560 ha de cobertura vegetal, con el bosque húmedo representando el 41,2% de su territorio total (MINAM, 2018). Además, entre 2005 y 2015, la cobertura vegetal de la región mostró un impacto progresivo de desertificación, alcanzando un 3,39% en 2005, 4,63% en 2009 y 6,25% en 2015, con una tasa acumulada de 1,43%. Estos cambios se atribuyen a factores como variaciones climáticas, actividades agrícolas, interacciones socioculturales y la influencia combinada de factores físicos y biológicos indicado por Caballero (2017). Las pérdidas forestales, que generan el 51% del cambio de uso del suelo, son principalmente el resultado de actividades ilegales e informales, migración, pobreza y expansión no planificada (MINAM, 2019).

De manera similar, Chahua (2019) estudió la deforestación entre 2006 y 2018. La tasa más alta se observó en el periodo 2014-2018, con 176,8 ha/año, seguida por 2006-2010 con 140,4 ha/año y 2010-2014 con 39,78 ha/año. En total, para 2018 se identificaron 8 366,33

ha deforestadas, representando el 54,91% del área del distrito. Por otra parte, Fajardo (2023) analizó la deforestación entre 2016 y 2022. La tasa anual de deforestación se estimó en 368,63 ha/año, con un incremento de la superficie deforestada de 3 284,59 ha en 2016 a 5 440,23 ha en 2022. Este análisis utilizó algoritmos de clasificación supervisada, destacando el método Random Forest como el más efectivo.

De igual modo, Chávez (2023) indica las tasas de cambio de cobertura para los periodos 2000-2010 y 2010-2020. Durante el primer periodo, los cultivos de café crecieron un 12,6%, mientras que entre 2010 y 2020 aumentaron un 7,40%. En contraste, los Bosques (B) disminuyeron en -5,06% y los Pastos (P) se redujeron en -2,10% entre 2010 y 2020. Este cambio está vinculado principalmente a la expansión agrícola, favorecida por la infraestructura vial y la demanda de cultivos comerciales como el café

Por último, Smith (2023) estimó las tasas de cambio de cobertura y uso de suelo entre 2000 y 2020. Los Bosques presentaron una tasa de disminución de -0,51%/año, mientras que las Áreas Agrícolas mostraron un crecimiento de 0,31%/año. Asimismo, los Pastos aumentaron a una tasa de 0,21%/año durante este periodo, lo que evidencia una transformación gradual del paisaje hacia usos más intensivos debido a la expansión agrícola. Los resultados obtenidos en la zona selva de la provincia Marañón, evidencian patrones de cambio en la cobertura y uso del suelo que concuerdan con las tendencias observadas en las investigaciones mencionadas pertenecientes a otras regiones de Huánuco y la Amazonía peruana.

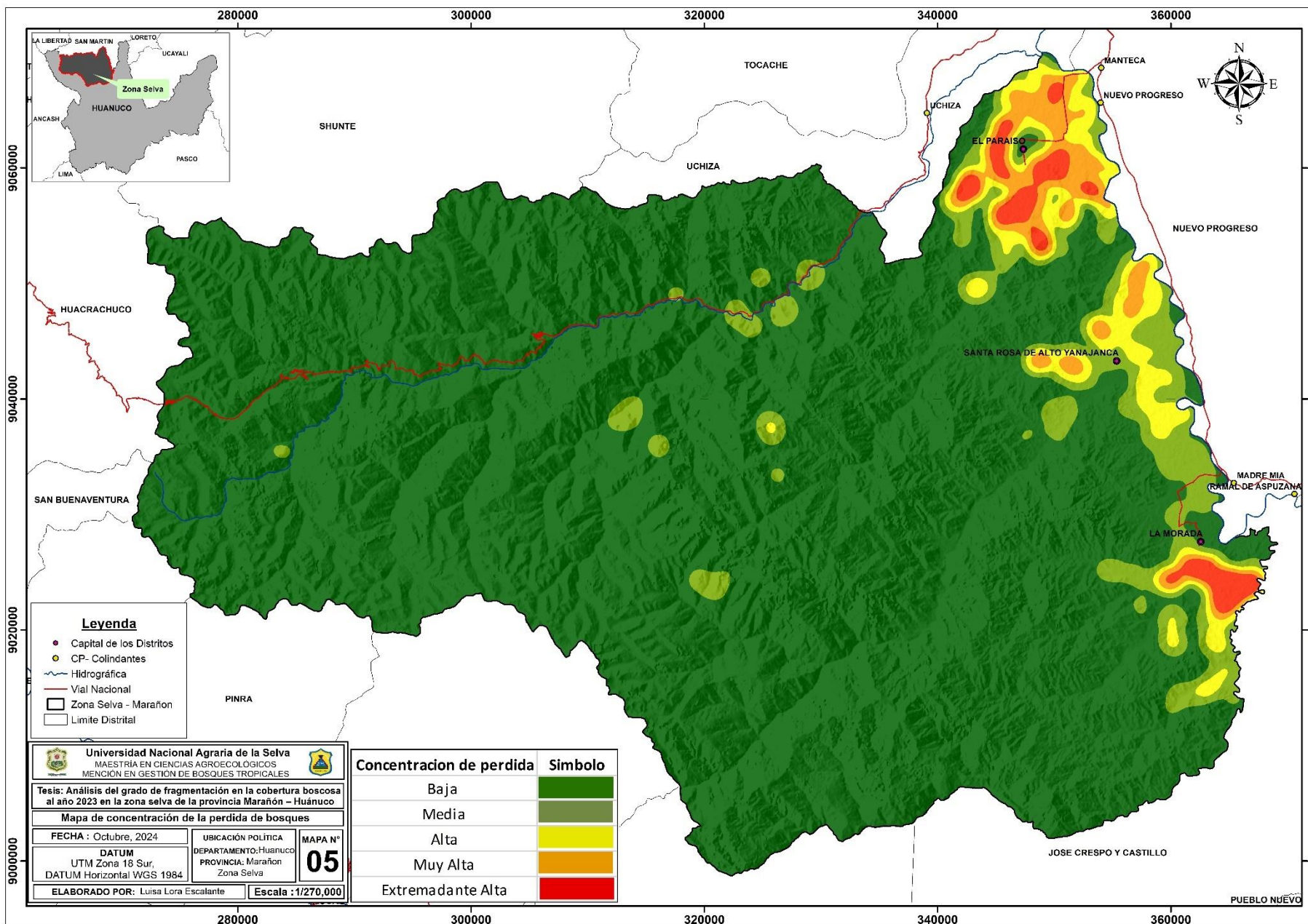


Figura 17. Mapa concentración de la pérdida de bosques al año 2023 de la provincia Marañón, Huanuco.

4.4. Grado de fragmentación de la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Maraón

Según las métricas obtenidas durante el análisis, el grado de fragmentación es de 0,73 y con 505 parches, clasificándolo como altamente fragmentada, además el índice de forma media es de 2,41 indicando que los parches presentan formas amorfas en los bordes, mientras que el índice medio fractal de 1,13 sugiriendo irregularidad en los bordes de los fragmentos. Finalmente, la distancia promedio al vecino más cercano fue de 102,42 metros, evidenciando una mayor proximidad entre fragmentos, aunque la conectividad del paisaje forestal sigue siendo limitada debido al alto nivel de fragmentación (**Tabla 14**).

Tabla 14. Fragmentación y métricas de la cobertura boscosa al año 2023.

Métricas	Símbolo	Resultados	Descripción
Grado de fragmentación		0,73	Altamente fragmentado
Número de parches	NP	505	Total, de parches
Índice de forma media	SHAPE_MN	2,41	Amorfo o irregular
Media Fractal	FRAC_MN	1,13	Moderadamente irregulares
Distancia euclidiana al vecino más cercano	ENN_MN	102,42 m	Distancia entre el centro de un parche y al más cercano

Fuente: McGarigal y Cushman (2002)

Comparando estos resultados con otros estudios, Puerta (2023) señaló que los bosques en el Parque Nacional Tingo María (PNTM) presentan una fragmentación moderada (0,942), mientras que las zonas de amortiguamiento muestran una fragmentación severa (0,659). En conclusión, el área natural protegida ha logrado mantener la cobertura vegetal, a pesar de las presiones externas. Por otro lado, Hinostroza (2021) identificó que las unidades naturales disminuyeron su extensión, mientras que las unidades antropizadas incrementaron su área. Reportando un aumento en el número de parches y presenta un paisaje fragmentado en un 44,33 %, siendo las causas principales el avance de la frontera agrícola, la ganadería, las quemadas de pastizales, los suelos descubiertos y la minería artesanal.

Adicionalmente, Arroyo et al. (2017) subrayan que la fragmentación altera la estructura y composición de la cobertura forestal, provocando el aislamiento de poblaciones y afectando la capacidad adaptativa de los ecosistemas frente al cambio climático. En este contexto, los valores obtenidos en este análisis reflejan un entorno donde las dinámicas humanas han fragmentado significativamente el paisaje, comprometiendo su funcionalidad ecológica. Finalmente, se concluye que la fragmentación del paisaje en la zona estudiada refleja

una fuerte influencia de actividades humanas, evidenciando un alto grado de transformación del paisaje natural hacia uno más antropizado.

Los resultados obtenidos coinciden con investigaciones mencionadas, al mostrar formas irregulares en los parches, conectividad limitada y pérdida de hábitat. Este patrón reafirma la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible y conservación para mitigar los impactos negativos y restaurar la funcionalidad ecológica del paisaje.



Figura 18. Fragmentación de la cobertura boscosa – en imagen satelital y aéreas.

V. CONCLUSIONES

1. La cobertura predominante en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, es la categoría de bosque, la cual se reduce de 314 090,01 ha (75,58%) en 2003 a 301 813,37 ha (72,63%) en 2023. En contraste, las áreas agrícolas heterogéneas aumentaron de 11 003,90 ha (2,65%) a 21 292,51 ha (5,12%), y las zonas urbanas crecieron de 451,87 ha (0,11%) a 714,84 ha (0,17%).
2. Entre 2003 y 2023 se observa un aumento significativo de áreas agrícolas heterogéneas (10 288,61 ha), así como pastos (1 357,89 ha) y vegetación secundaria (1 031,36 ha). Además, la cobertura bosque disminuyó en 12 276,64 ha, los afloramientos rocosos y cuerpos de agua disminuyeron 415,47 ha y 248,74 ha respectivamente, evidenciando la pérdida de ecosistemas forestales.
3. Entre 2003 y 2023, se muestra un crecimiento en las áreas agrícolas heterogéneas con 3,36% anual (514,43 ha/año) mientras que zonas urbanas y pasto con 2,32% y 0,99% anual. Así mismo, la pérdida de bosque a una tasa de -0,20% anual (613,83 ha/año), los afloramientos rocosos y los cuerpos de agua también disminuyeron levemente en -0,03% y -0,39% anual.
4. La cobertura boscosa al año 2023 revela un paisaje altamente fragmentado, con un índice de fragmentación de 0,73 y 505 parches identificados. Por lo tanto, las métricas indican que los bordes de los parches presentan formas amorfas y una irregularidad moderada.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Continuar los estudios de cobertura y uso del suelo, se sugiere utilizar imágenes satelitales de alta resolución, como las plataformas PlanetScope Google Earth Engine, que permitan una mayor precisión en el monitoreo de áreas agrícolas y forestales. Además, considerando los bosques de producción permanente, las concesiones forestales con fines maderables y zonas con prioridad para la conservación.
2. Analizar las métricas del paisaje de la zona selva de la provincia Marañón – Huánuco, considerando variables de infraestructura, factores físico-naturales y socioeconómicos para calcular con precisión el grado de fragmentación de la cobertura boscosa al 2023. Esta evaluación permitirá predecir escenarios futuros e identificar los principales motores de la deforestación en la región, facilitando la toma de decisiones estratégicas para reducir la fragmentación forestal y garantizar un manejo sostenible del territorio.
3. Realizar delimitaciones en los afloramientos rocosos de la zona selva de la provincia Marañón, mediante el uso de imágenes satelitales como Sentinel -2 de la plataforma PlanetScope, complementado con verificación a campo. Esta metodología permitirá mejorar la identificación y caracterización de estas formaciones geológicas, contribuyendo a un manejo del territorio.

VII. REFERENCIAS

- Alarcón, L. (2019). *Análisis de fragmentación y conectividad ecológica entre relictos de cobertura vegetal asociada al área de influencia del río Cravo sur en el municipio de Yopal – Casanare - Colombia – 2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional abierta y a distancia]. Repositorio Institucional de la UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13547/1118528923.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alegre, K. (2017). *Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10803/Alegre_VKV.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Araya, J. (2013). Proyecto Microcuenca Plantón, Pacayas. Manual de procesos en fotografías aéreas e Imágenes de satélite. *Actualidades Biológicas*, 14(4), 36-55.
- Armenteras, D., y Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta Biológica*, 21(1), 229–239. <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1sup.50848>
- Barbosa, O., & Marquet, P. (2012). Effects of forest fragmentation on the beetle assemblage at the relict forest of Fray Jorge, Chile. *Oecologia*, 132(2), 296–306. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0951-3>
- Barchuk, H. B. (2013). Dinámica de la cobertura vegetal y los usos de la tierra a través de modelos de no-equilibrio. *Revista de Teledetección*, 28, 12-40.
- Batistella, M., Robeson, S., & Moran, E. (2013). Settlement Design, Forest Fragmentation, and Landscape Change in Rondonia, Amazonia. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(7), 805–812. <https://doi.org/10.14358/pers.69.7.805>
- Bodo, T., Gimah, B., & Seomoni, K. (2021). Deforestation and Habitat Loss: Human Causes, Consequences and Possible Solutions. *Journal of Geographical Research*, 2(2). <https://ojs.bilpublishing.com/index.php/jgr/article/view/3059/2908>
- 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

- CCRS – Canada Center For Remote Sensing (2002). *Remote Sensing Tutorial*.
<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/tutorial/tutore.html>.
- Chahua, M. (2019). *Análisis de la deforestación en el periodo 2006 – 2018 del distrito Daniel Alomía Robles – Huánuco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] Repositorio UNAS. file:///C:/Users/Asus/Downloads/TS_ECM_2019.pdf
- Chávez, C. (2023). *Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el distrito cafetalero de Ocumal, Luya - Amazonas*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio UNTRM <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3404/Cleyton%20Francisco%20Chavez%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chuvieco, E. (2002). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Universidad de Alcalá. Madrid, *Digital Reasons*.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. tercera edición, *Digital Reasons*.
- Chuvieco, E. (2011): *Teledetección Ambiental, La observación de la Tierra desde el Espacio*. Cuarta edición, *Digital Reasons*.
- Convención de las Naciones Unidas contra la Corrupción CNUCC – (12 de noviembre de 2002); *Informe de la Conferencia de las Partes 7mo Periodo de Sesiones celebrado en MarraKech* [Conferencia]. Séptimo encuentro 2002, Lima, Perú. FCCC/CP/2001/13/Add.1
- Collado Torres, R., Gama Campillo, L. y Díaz López, H. (2015). Percepción remota: elementos básicos, *Remote Sensing*, 12(40) 23-29
<http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>
- Collao, J. (2021). *Valoración económica de impactos a la vegetación en la concesión forestal Carlos Edmundo Muñoz landa, distrito la Morada, provincia Marañón, región Huánuco*. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] Repositorio UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1968/TS_JEGC_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (2024). Portal institucional. <https://www.senamhi.gob.pe>
- Fajardo, G. (2023). *Análisis de la deforestación de los años 2016 y 2022 en el distrito Castillo Grande, Huánuco, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] Repositorio UNAS

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/63f54530-cac6-41f5-a962-81b447be9ed8/content>

- Falcón, G. (2014). *Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, en una región del estado de quintana roo – México* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma De México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707773/Index.html>
- García, P. (2021). ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? – Geoinnova; *Asociación Geoinnova*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>
- Global Forest Watch. (18 de diciembre de 2023). Huánuco ha perdido 77% de sus bosques primarios en 20 años. *Diario Ahora*. <https://ahora.com.pe/huanuco-ha-perdido-77-de-sus-bosques-primarios-en-20-anos/>
- Global Green Institute y die (2015). *Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla*. Global Green Institute y die en cooperación con SERFOR. <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Interpretacion-de-la-dinamica-de-la-deforestacion-en-el-Peru-y-lecciones-aprendidas-para-reducirla-1.pdf>
- Gobierno Regional de Huánuco - GOREHCO (2021). *Estrategia y plan de acción regional de la diversidad biológica de la región Huánuco al 2021*. <https://declara.jne.gob.pe/ASSETS/PLANGOBIERNO/FILEPLANGOBIERNO/12978.pdf>
- Hernández, R., Hernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación (Sexta edición)*. Me Graw Hill Education.
- Hinostroza, M. (2021). *Análisis del grado de fragmentación del paisaje mediante herramientas de información geográfica y teledetección en el distrito de Huaricolca (Tarma - Junín)*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae] Repositorio Institucional de la UCSS. <https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1021/Tesis%20%20Hinostroza%20Medina%2c%20Luis%20Fernando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP (2016). *Proyecto “Viabilidad del Cultivo de Cacao en la provincia de Alto Amazonas – Huánuco*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. <https://www.munimaranon.gob.pe/datosg.html>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2019). *Perú: Compendio estadístico 20*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf
- Jensen, J. R. (2017). *Remote sensing of vegetation*. In *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, United States of America
- Lozano-Botache, L., Gómez-Aguilar, F., y Valderrama-Chaves, S. (2011). *Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima Colombia*. *Tumbaga*, 1(6), 125-140.
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation (Seventh), United States of America* https://www.bkbcollge.in/upload/dpt_book/1669887716.pdf
- López, I., y Pita, S. (2001). *Medidas de concordancia: el índice Kappa*. <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa2.pdf>
- Lora, E. (2023). *Simulación geoespacial de la deforestación al año 2032 en el distrito Padre Abad – Ucayali*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la UNAS. https://repository.unas.edu.pe/handle/unas/tesis_padreabad2023
- Marín, D. (2018). Lanzamiento del Sentinel-2A (Vega VV05). *Eureka*. 11 (80) 15-18 <https://danielmarin.naukas.com/2015/06/24/lanzamiento-del-sentinel-2a-vega-vv0>
- McGarigal, K. (2015). *Fragstats Help*. *Fragstats*. 1–182. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)00047-9)
- McGarigal, K., Cushman, S., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- 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*. Dirección General de Ordenamiento Territorial – Lima. Dirección General de Ordenamiento Territorial. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2498-evaluacion-de-la-exactitud-tematica-del-mapa-de-deforestacion>

- Ministerio del Ambiente - MINAM (2016). *Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2016. Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático*, http://www.bosques.gob.pe/archivo/ff3f54 ESTRATEGIACAMBIOCLIMATICO2016_ok.pdf
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2019). Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos 2018. *Reporte de Geobosque*. <http://www.bosques.gob.pe/archivo/Apuntes-del-Bosque-N1.pdf>
- 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 (2021). 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 (2023). *GeoBosques: Sistema de monitoreo de la cobertura de los bosques del Perú*. <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>
- Neel, M., McGarigal, K., & Cushman, S. (2014). Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. *Landscape Ecology*, 19(4), 435– 455. <https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000030521.19856.cb>
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - FAO y UNEP (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2012). *Los bosques y el cambio climático en el Perú*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ec0e1252-1295-4058-8c2b-e6d06b49f419/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (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>

- Patton, D.R. (2007). A diversity index for quantifying habitat edge. *Wildlife Society Bulletin, Remote Sensing*, 3, 171 -173. <https://www.jstor.org/stable/3781151>
- Pontius, G., Shusas, E. & Mceachern, M. (2004). "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34(9), 612-616
- Porras, F. (2019). *Impacto de las actividades humanas en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos*. Ediciones Ambientales. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942024000100002&script=sci_arttext&tlng=en
- Puerta, T. (2022). *Análisis de la cobertura boscosa en el parque nacional Tingo María – Perú utilizando algoritmos de inteligencia artificial*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villareal] Repositorio UNFV. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/6956/UNFV_EUPG_Puerta_Tuesta_Ronald_Hugo_Doctorado_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quispe, M. (2021). *Simulación geoespacial de la tasa de deforestación al 2030 en el Distrito de Nueva Requena – Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] Repositorio UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1976/TS_MAQT_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rautner, M., Leggett, M., y Davis, F. (2013). *El Pequeño Libro de las Grandes Causas de la Deforestación. Programa Global Canopy: Oxford*. https://forest500.org/sites/default/files/the_little_book_of_big_deforestation_drivers_-_spanish.pdf
- Rodríguez-Eraza, N., Pabón-Caicedo, J., Bernal-Suárez, N., y Martínez-Collantes, J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. Bogotá, D. C., Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia.
- Romero, R. (2019). *Evaluación del diseño de un proyecto de conservación: Aplicación en el bosque seco ecuatorial de Salitral Huarmaca, Piura, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina] Repositorio UNAM. <https://bit.ly/3G4czmb>
- San Vicente, M. y Valencia, P. (2008). Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios Geográficos*, 69(265), 519–543. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0427>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR. (2019). *Ficha Técnica – Pajonal de Puna Húmeda Yanahuanca*. Ministerio de Agricultura y Riego.

- https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1721152/FT-HCO-05_Pajonal_de_Puna_H%C3%BAmeda_-_Yanajanca.pdf
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR. (2020). *Resolución Directoral Ejecutiva N.º D000004-2020-MINAGRI-SERFOR-DE*. Ministerio de Agricultura y Riego. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1089246/RDE-D000004-2020-MINAGRI-SERFOR-DE20200730-107894-ocuzm9.pdf?v=1596145038>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR (2019). *Ficha Técnica – Jalca San Pedro de Chonta*. Ministerio de Agricultura y Riego. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1721151/FT-HCO-04_Jalca_-_San_Pedro_de_Chonta.pdf
- Sharp, R.; Tallis, H.; Ricketts, T.; Guerry, A.; Wood, S.; Chaplin, R., & Douglas, J. (2018). InVEST 3.7.0. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota. *The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund*. 12(3), 26-33 <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/who-we-are/natural-capital-project>
- Smith, P. (2023). *Simulación geoespacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca Supte, distrito Rupa Rupa – Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] Repositorio UNAS <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/23874be5-31ed-46ba-a911-15226e33a67d/content>
- Smith, J. y Schwartz, J. (2015). La deforestación en el Perú. Cómo las comunidades indígenas, agencias gubernamentales, organizaciones sin fines de lucro y negocios trabajan juntos para detener la tala de los bosques. *World Wide Fund For Nature*. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/la_deforestacion_en_el_peru.pdf
- Smith, P. (2023). *Simulación geoespacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca Supte, distrito Rupa Rupa – Huánuco, 2000-2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la UNAS. https://repository.unas.edu.pe/handle/unas/tesis_supte2023
- Tang, F.; Fu, M.; Wang, L.; Song, W.; Yu, J., & Wu, Y. (2021). Dynamic evolution and scenario simulation of habitat quality under the impact of landuse change in the Huaihe River Economic Belt. *China. PLoS ONE* 16(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249566>
- Tobar, M. (2013). *Guía Práctica: Clasificación de Imágenes Satelitales*, 1–31. <http://arcgeek.com/>
- Toribio, D. (2016). *Modelamiento espacial del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Nuevo Progreso – San Martín, 2000-2015*. [Tesis de pregrado, Universidad

- Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la UNAS. https://repository.unas.edu.pe/handle/unas/tesis_nuevoprogreso2016
- Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2013). Landscape ecology in theory and practice. *pattern and process*. Springer. https://www.researchgate.net/publication/296885152_Landscape_ecology_in_theory_and_practice_Pattern_and_process_second_edition
- Unwin, D. (2002). Introductory spatial analysis. *Methuen and Corporation*. 5, 14-19 <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v28n1/2256-5442-rcdg-28-01-102.pdf>
- Vargas G., E. (2002). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. Colombia: IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi).
- Vogelman, J. (2005). Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology* 9 (2): 439-449. <https://www.redalyc.org/pdf/491/49144024007.pdf>
- Von Martini, A. (2015). Proyecto Agricultura de Precisión. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), *Manfredi*. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-percepcion-remota.pdf>
- World Wide Fund For Nature - WWF (2018). Living Planet Report. Environmental Conservation Gland. *Switzerland*. <https://doi.org/10.1080/09528820802312343>
- Zanter, K. (2018). Landsat 8 Data Users Handbook, 3.0. ed. Sioux Falls, *South Dakota*. https://d9wret.s3.uswest2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fspublic/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf

ANEXO

Anexo A. Mapas de la Zona Selva - Provincia Maraón.

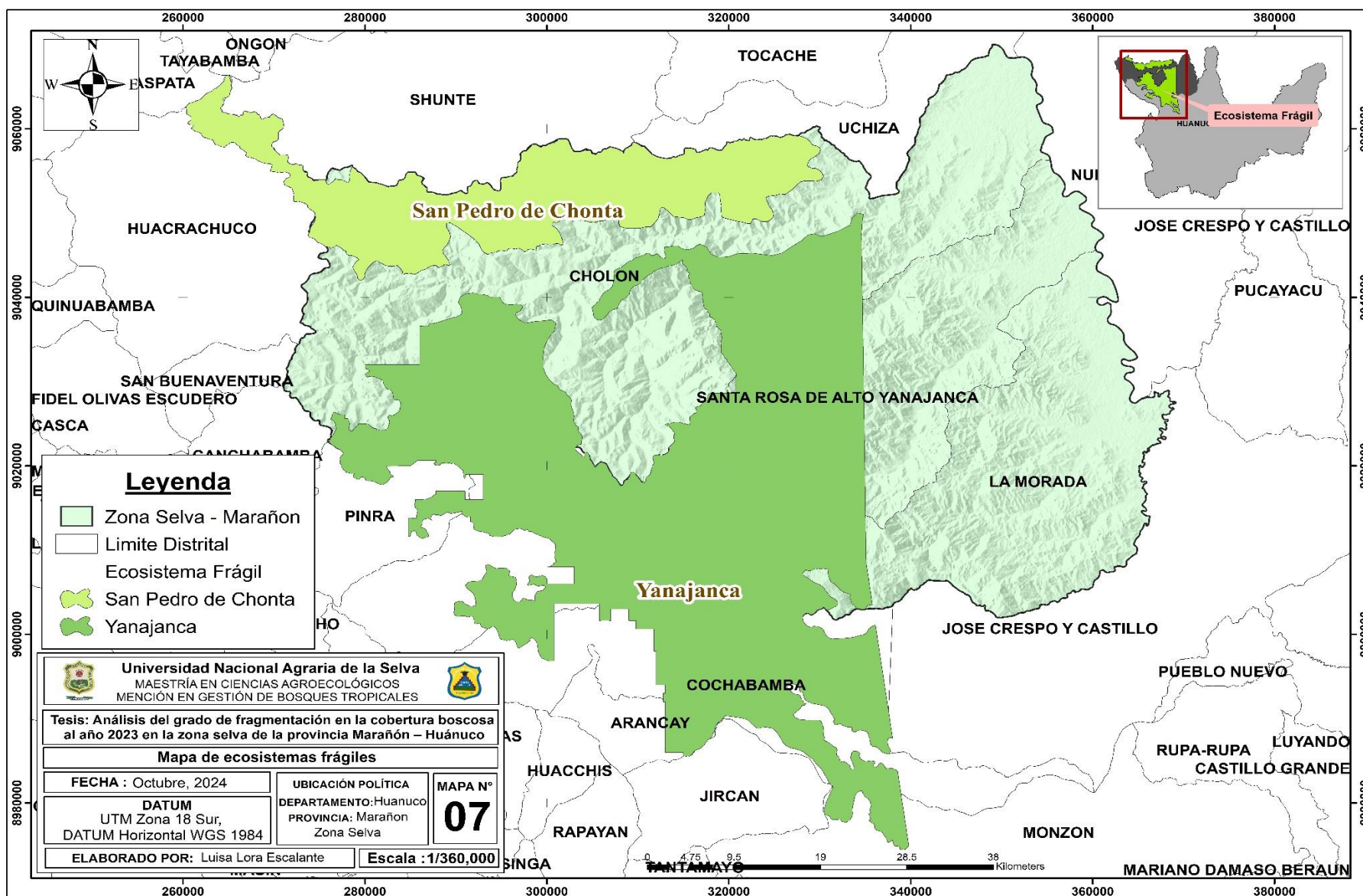


Figura 19. Mapa de ecosistema frágiles – Provincia Maraón.

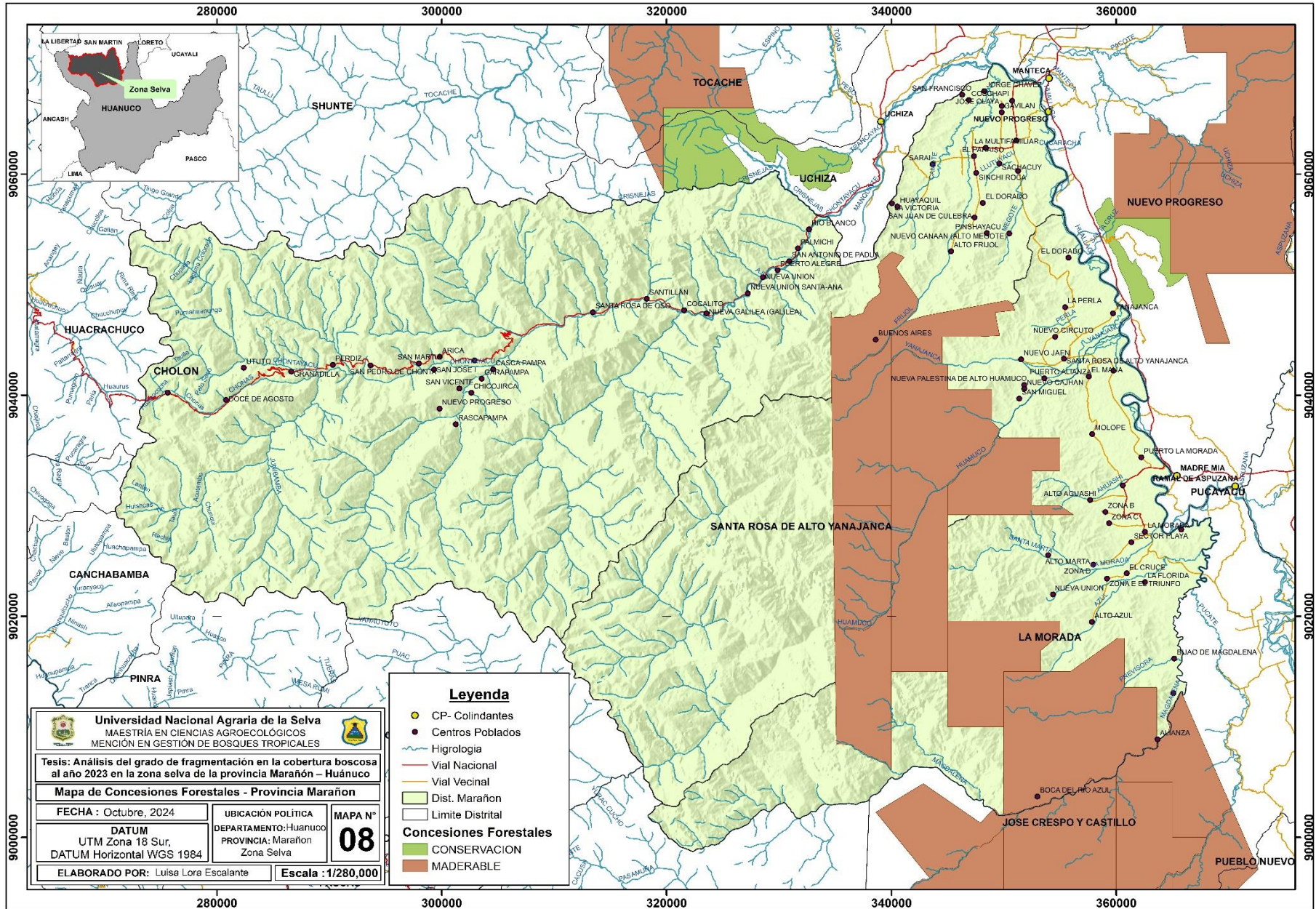


Figura 20. Mapa de Concesiones Forestales – Provincia Marañón.

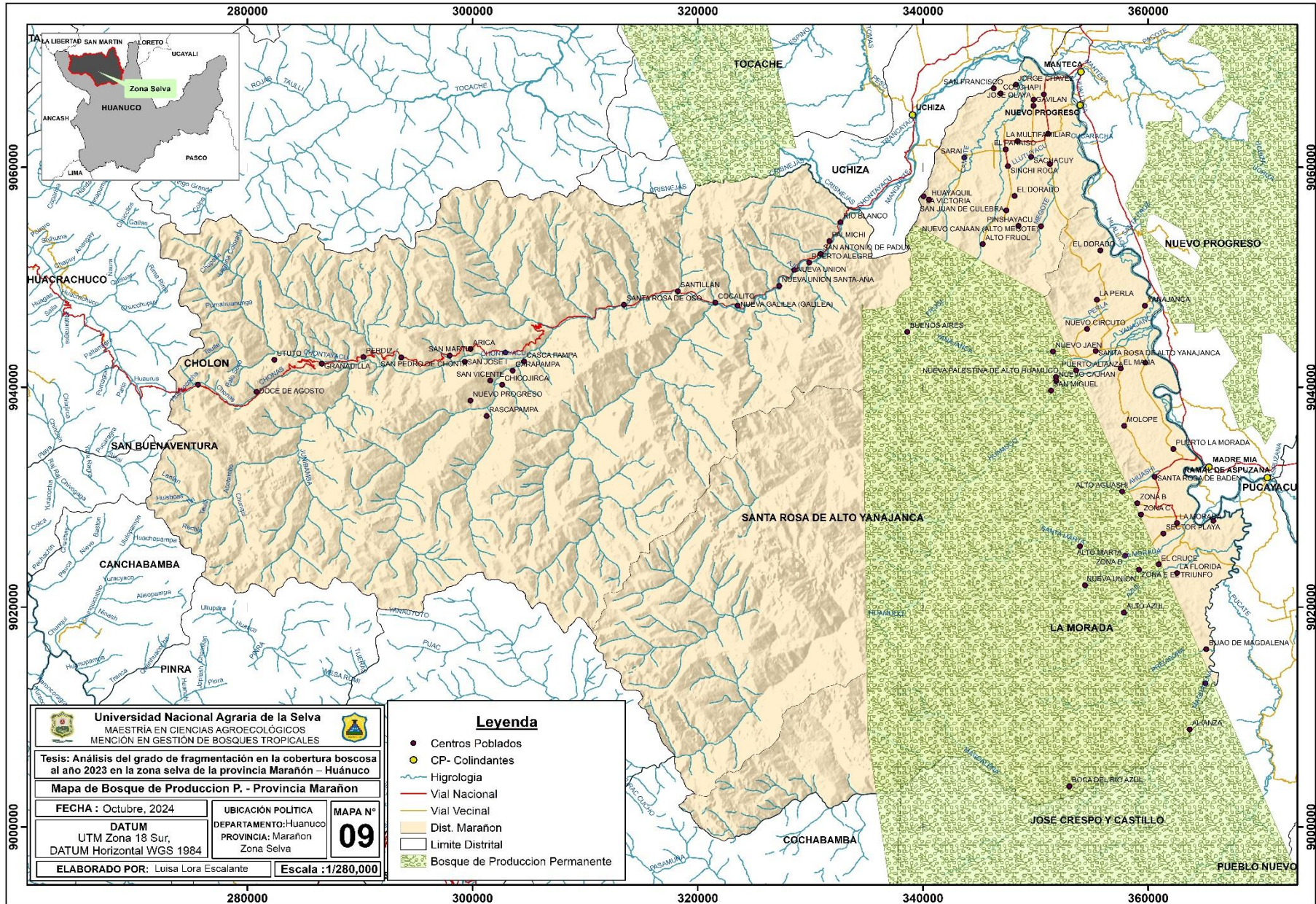


Figura 21. Mapa de Bosque de Producción Permanente – Provincia Marañón.

Anexo B. Matrices de transición adicionales.

Tabla 15. Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2003-2013.

		2013							Área total	Perdida	
2003	Ctg.	ZU	AAH	P	B	VS	AR	CA	2003 (ha)		
	ZU	442,54	0,00	1,40	6,57	0,00	1,37			451,87	9,34
	AAH	25,14	5 062,77	628,20	506,19	0,04	29,11	2,22		6 253,67	1 190,89
	P	74,89	211,00	9 727,85	653,41	221,42			115,33	11 003,89	1 276,04
	B	47,61	1 637,82	4 906,66	30 5907,58	977,07	161,78	451,46		314 089,98	8 182,40
	VS	6,94	28,15	339,64	404,01	2 089,31			131,13	2 999,19	909,88
	AR	0,20	0,00	0,24	348,88	70,24	77 036,37	0,96		77 456,88	420,51
	CA		45,05	269,29	350,97	144,30	21,87	2 488,73		3 320,21	831,48
Área total 2013 (ha)		597,32	698,80	15 873,26	30 8177,60	3 502,38	77 250,50	3 189,82	415 575,76		
Ganancia		154,79	1 922,02	6 145,41	2270,01	1 413,07	214,13	701,10			

Tabla 16. Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2013-2023.

		2023							Área total	Perdida	
2013	Ctg.	ZU	AAH	P	B	VS	AR	CA	2013 (ha)		
	ZU	594,72	0,01	0,89	1,51	0,00	0,19	0,00		597,32	2,60
	AAH	0,01	5 715,93	423,57	664,11	145,29	27,98	7,92		6 984,80	1 268,87
	P	99,79	298,13	13 976,90	948,50	405,53	63,80	80,62		15 873,27	1 896,37
	B	18,83	1 318,31	5 645,78	299 063,29	1 680,79	208,98	241,52		308 177,49	9 114,20
	VS	0,00	223,51	1 051,04	399,62	1 720,24	8,38	99,58		3 502,38	1 782,14
	AR	1,48	29,11		485,03		76 705,10	29,78		77 250,50	545,40
	CA	0,00	26,56	194,33	251,21	78,70	26,97	2 612,10		3 189,86	577,76
Área total 2023 (ha)		714,84	7 611,55	21 292,50	301 813,27	4 030,54	77 041,40	3 071,51	415 575,76		
Ganancia		120,12	1 895,62	7 315,60	2 749,98	2 310,30	336,30	459,41			

Tabla 17. Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2013-2023.

		2023							Área total	Perdida	
2003	Ctg.	ZU	AAH	P	B	VS	AR	CA	2003 (ha)		
	ZU	445,93	0,00	1,47	0,81	3,64	0,00	0,00		451,87	5,94
	AAH	45,39	4 906,21	594,52	594,16	78,76	27,99	6,62		6 253,64	1 347,43
	P	131,46	133,93	9 523,50	688,82	374,84	7,43	143,90		11 003,89	1 480,39
	B	78,90	2 395,63	9 501,32	29 9279,38	2 130,31	283,69	420,62		314 089,85	14 810,47
	VS	12,56	43,76	1 297,93	213,10	1 239,86	0,42	191,56		2 999,19	1 759,33
	AR	0,59	70,24		690,97		76 669,81	25,27		77 456,88	787,07
	CA	0,00	61,75	373,75	346,01	203,13	52,07	2 283,50		3 320,20	1 036,71
Área total 2023 (ha)		714,84	7 611,53	21 292,50	30 1813,26	4 030,53	77041,40	3 071,47	415 575,76		
Ganancia		268,90	2 705,32	11 768,99	2 533,88	2 790,68	371,59	787,97			

Anexo C. Puntos de verificación.

Tabla 18. Verificación de puntos en campo, utilizando coordenadas UTM.

N°	Uso del suelo	Altitud	Este	Norte	Validación
1	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	588	362879	9033491	Verdadero
2	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	536	360946	9032165	Verdadero
3	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	650	361410	9032553	Verdadero
4	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	644	361153	9032423	Verdadero
5	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	587	360677	9029138	Verdadero
6	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	535	362517	9029748	Verdadero
7	Bosque	512	350789	9066016	Verdadero
8	Bosque	690	361906	9032771	Verdadero
9	Áreas Agrícolas Heterogenia (Cacao)	508	350997	9064443	Verdadero
10	Áreas Agrícolas Heterogenia (Cacao)	507	350554	9062410	Verdadero
11	Áreas Agrícolas Heterogenia (Cacao)	753	363985	9033440	Verdadero
12	Áreas Agrícolas Heterogenia (Choclo)	504	352294	9064486	Verdadero
13	Zonas Urbanas	515	347514	9062449	Verdadero
14	Áreas Agrícolas Heterogenia (Pasto)	517	347782	9062419	Verdadero
15	Zonas Urbanas	518	347256	9062023	Verdadero
16	Zonas Urbanas	546	347337	9061507	Verdadero
17	Zonas Urbanas	517	348165	9062403	Falso
18	Zonas Urbanas	572	362378	9028406	Verdadero
19	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	515	352472	9068174	Verdadero
20	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	513	350785	9067020	Verdadero
21	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	579	361605	9029289	Verdadero
22	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	522	346568	9061481	Verdadero
23	Áreas Agrícolas Heterogenia (Pasto)	580	361641	9029268	Verdadero
24	Áreas Agrícolas Heterogenia (Pasto)	509	350990	9064644	Verdadero
25	Áreas Agrícolas Heterogenia (Pasto)	536	362241	9029395	Verdadero
26	Áreas Agrícolas Heterogenia (Plátano)	595	360793	9031218	Verdadero
27	Áreas Agrícolas Heterogenia (Cacao)	534	364210	9033697	Verdadero
28	Ríos	503	353438	9065755	Verdadero
29	Ríos	526	352888	9068261	Falso
30	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	571	362280	9028692	Verdadero
31	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	538	362155	9028967	Verdadero
32	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	543	361035	9029144	Verdadero
33	Vegetación Secundaria	552	360735	9029952	Verdadero
34	Ríos	758	364287	9033783	Falso
35	Zonas Urbanas	510	351072	9063232	Verdadero
36	Vegetación Secundaria	507	351582	9063165	Verdadero
37	Vegetación Secundaria	517	347181	9062526	Falso
38	Vegetación Secundaria	514	348949	9062380	Verdadero

39	Vegetación Secundaria	740	363593	9033386	Verdadero
40	Vegetación Secundaria	716	362316	9033210	Falso
41	Vegetación Secundaria	591	360906	9030525	Verdadero
42	Ríos	569	363169	9028013	Verdadero
43	Zonas Urbanas	576	362761	9028010	Verdadero
44	Zonas Urbanas	545	362451	9027704	Verdadero
45	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	546	362343	9027253	Verdadero
46	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	507	350644	9062418	Verdadero
47	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	547	361828	9026944	Verdadero
48	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	545	361634	9026910	Verdadero
49	Bosque	546	361570	9026907	Verdadero
50	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	546	361431	9026871	Verdadero
51	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	547	361556	9026863	Verdadero
52	Áreas Agrícolas Heterogenia (Cacao)	545	361545	9026856	Verdadero
53	Vegetación Secundaria	548	361119	9026627	Verdadero
54	Pasto	548	360902	9026413	Falso
55	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	549	360597	9026054	Verdadero
56	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	549	361213	9026710	Verdadero
57	Bosque	553	358829	9024838	Verdadero
58	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	553	358864	9024829	Verdadero
59	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	550	359707	9025140	Verdadero
60	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	550	359753	9025197	Verdadero
61	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	557	360140	9025532	Verdadero
62	Vegetación Secundaria	557	360358	9025700	Verdadero
63	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	550	360526	9025930	Verdadero
64	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	541	363166	9030397	Verdadero
65	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	542	362940	9029945	Verdadero
66	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	503	353267	9065743	Verdadero
67	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	503	353062	9065693	Verdadero
68	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	504	352835	9065559	Verdadero
69	Bosque	504	352663	9065521	Falso
70	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	505	352385	9065396	Verdadero
71	Vegetación Secundaria	506	352078	9064891	Verdadero
72	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	506	352374	9063965	Verdadero
73	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	516	351788	9068136	Verdadero
74	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	514	352122	9068153	Verdadero
75	Vegetación Secundaria	514	352104	9068102	Verdadero
76	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	514	350788	9067191	Verdadero
77	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	511	350828	9067722	Verdadero
78	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	512	350827	9067454	Verdadero
79	Bosque	513	351040	9064183	Verdadero

80	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	515	351125	9063696	Verdadero
81	Zonas Urbanas	509	351385	9060223	Verdadero
82	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	509	351312	9060730	Verdadero
83	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	513	351108	9061448	Verdadero
84	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	509	350859	9062139	Verdadero
85	Bosque	518	350822	9062879	Verdadero
86	Pasto	510	350220	9062329	Verdadero
87	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	514	348560	9062414	Verdadero
88	Vegetación Secundaria	523	346315	9061512	Falso
89	Ríos	525	345768	9061524	Verdadero
90	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	526	345476	9061463	Verdadero
91	Áreas Agrícolas Heterogenia (Cacao)	523	346105	9061523	Verdadero
92	Zonas Urbanas	516	349486	9060991	Verdadero
93	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	505	349630	9061175	Verdadero
94	Vegetación Secundaria	505	349624	9061445	Falso
95	Áreas Agrícolas Heterogenia (Cacao)	503	349669	9062082	Verdadero
96	Vegetación Secundaria	513	349245	9062362	Verdadero
97	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	549	347478	9060429	Verdadero
98	Vegetación Secundaria	549	347510	9060179	Verdadero
99	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	550	347549	9059959	Verdadero
100	Pasto	550	347596	9059715	Falso
101	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	557	347613	9059502	Verdadero
102	Vegetación Secundaria	560	347663	9059237	Verdadero
103	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	561	347715	9058886	Verdadero
104	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	561	347736	9058627	Verdadero
105	Vegetación Secundaria	527	345336	9061429	Verdadero
106	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	526	344678	9061282	Verdadero
107	Bosque	527	344961	9061332	Verdadero
108	Zonas Urbanas	531	343687	9060939	Verdadero
109	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	530	343949	9061105	Verdadero
110	Ríos	529	344374	9061200	Verdadero
111	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	519	347217	9062981	Verdadero
112	Vegetación Secundaria	519	347236	9063084	Falso
113	Vegetación Secundaria	521	347244	9063263	Verdadero
114	Áreas Agrícolas Heterogenia (Arroz)	533	347180	9063775	Verdadero
115	Áreas Agrícolas Heterogenia (Palma)	535	347236	9063933	Verdadero
116	Vegetación Secundaria	537	347369	9064081	Verdadero

Anexo D. Panel Fotográfico de los tipos de clasificación.



Figura 22. Centro poblado Paraíso – distrito Cholón.



Figura 23. Zona Urbana Paraíso - distrito Cholon.



Figura 24. Área agrícola agroforestal – cacao.



Figura 25. Área agrícola con palma aceitera.



Figura 26. Área agrícola con palma.



Figura 27. Área agrícola con plátano.



Figura 28. Área agrícola con arroz.



Figura 29. Área con uso de pasto.



Figura 30. Área con uso de vegetación secundaria.



Figura 31. Área con cobertura de bosque.



Figura 32. Distrito la Morada.



Figura 33. Centro poblado Nuevo Paraíso – tomada con dron.



Figura 34. Zona agrícola (cultivo de arroz), fotografía tomada desde un vehículo RPAS.



Figura 35. Paisaje boscoso fragmentado en el distrito la Morada.