

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**DEFORESTACION VINCULADA AL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA EN LA**  
**CUENCA DEL RIO CHALLHUAYACU, PROVINCIA TOCACHE, SAN MARTIN**

**Tesis para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**JORDAN JOHNSON ARZAPALO ROMERO**

**Tingo María – Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 093-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de junio de 2024, a horas 10:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguade la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“DEFORESTACIÓN VINCULADA AL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA EN  
LA CUENCA DEL RÍO CHALLHUAYACU, PROVINCIA TOCACHE,  
SAN MARTÍN”**

Presentado por el Bachiller: **ARZAPALO ROMERO, Jordan Johnson** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENA**”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 19 de agosto de 2024

**Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ**  
**PRESIDENTE**

**Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO**  
**MIEMBRO**

**Ing. JAIME TORRES GARCÍA**  
**MIEMBRO**



**Ing. MSc. JUAN P. RENGIFO TRIGOZO**  
**ASESOR**



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

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



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

**CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 047 - 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:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
DEFORESTACION VINCULADA AL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RIO CHALLHUAYACU, PROVINCIA TOCACHE, SAN MARTIN	JORDAN JOHNSON ARZAPALO ROMERO	<b>19 %</b> <b>Diecinueve</b>

Tingo María, 07 de febrero de 2025

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
RFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



Universidad	: Universidad Nacional Agraria la Selva
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela profesional	: Ingeniería en Conservación de Suelo y Agua
Título de Tesis	: Deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra en la cuenca del rio Challhuayacu, provincia Tocache, San Martin
Autor	: Jordan Johnson Arzapalo Romero
Asesor de Tesis	: Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo
Objetivo general	: Estimar la deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra en la cuenca del rio Challhuayacu, provincia Tocache, San Martín
Área de investigación	: Gestión de Cuencas Hidrográficas
Grupo de investigación	: Gestión de Cuencas Hidrográficas
Línea de investigación	: Zonificación ecológica y económica
Lugar de ejecución	: Cuenca del rio Challhuayacu
Duración	: <b>Fecha Inicio</b> 20/10/2023 <b>Fecha Término</b> 20/04/2024
Financiamiento	<b>Propio (X)</b> <b>FEDU ( )</b> <b>Eterno ( )</b>
Presupuesto	S/. 2 057.00



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
OFICINA DE INVESTIGACION**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL  
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE  
Y TESISISTA**

**(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)**

**I. Datos Generales de Pregrado**

<b>Universidad</b>	: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
<b>Facultad</b>	: Facultad de Recursos Naturales Renovables.
<b>Título de tesis</b>	: Deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra en la cuenca del rio Challhuayacu, Provincia Tocache, San Martin.
<b>Autor</b>	: Jordan Johnson Arzapalo Romero
<b>Asesor de tesis</b>	: MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo
<b>Escuela Profesional</b>	: Ingeniería en Conservación de suelos y agua
<b>Área de investigación</b>	: Gestión de Cuencas Hidrográficas
<b>Grupo de investigación</b>	: Gestión de Cuencas Hidrográficas
<b>Línea de investigación</b>	: Zonificación ecológica y económica
<b>Lugar de ejecución</b>	: Cuenca del rio Challhuayacu - Tocache
<b>Duración</b>	: 06 meses
<b>Financiamiento</b>	: Propio

**Tingo María, Perú, 2024.**

Jordan Johnson Arzapalo Romero

**Tesista**

MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo

**Asesor**

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por haberme permitido llegar a este momento tan importante de mi formación profesional y por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres Mery y Marino, por todo su amor incondicional y por motivarme en cada etapa de mi vida, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Ustedes fueron y son mi fortaleza en todo momento los quiero y adoro mucho.

A mis hermanos, Paul y Jhoan que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo moral, gracias por tus consejos y ser parte de esta etapa profesional, hermano mayor.

A mis tíos, David y Lidia, que fueron como mis segundos padres, gracias por confiar en mí en cada etapa de mi vida, gracias por su paciencia y amor que me han dado.

A Cristel Condezo M., Eres mi amor, mi fuerza y mi estrella, gracias por todo tu amor y motivarme a seguir adelante, porque eres esa persona especial y maravillosa que Dios puso en mi 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 los prestigiosos docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en especial de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua por compartir todos sus conocimientos y experiencias, por su paciencia y guiarnos siempre para convertirnos en los mejores profesionales.

A los miembros de jurados presidente Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez; miembros Dr, Wilfreso Alva Valdiviezo y al Ing. Jaime Torres García, por su dedicación y tiempo en revisar el informe de la tesis por su apoyo y amistad.

A mi asesor, Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo. por compartir sus conocimientos y guiarme en el proceso de la tesis por su apoyo y amistad.

Finalmente, quiero agradecer a todos mis amigos (as) de la universidad por bríndame muchos ánimos, alegría, acompañarme en todo momento, gracias por siempre estar ahí con palabras de apoyo.

## ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos .....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. Cobertura y uso de la tierra.....	3
2.1.2. Cambio de uso de la tierra.....	3
2.1.3. Cambio de la cobertura vegetal .....	4
2.1.4. Causas del cambio de cobertura y uso de la tierra .....	4
2.1.5. Causas de la deforestación .....	6
2.1.6. Índice de deforestación.....	7
2.1.7. Tasa de deforestación .....	8
2.1.8. Cálculo de la tasa de deforestación .....	8
2.1.9. Panorama de la deforestación y la degradación .....	9
2.1.10. Deforestación en el Perú .....	11
2.1.11. Teledetección .....	12
2.1.12. Imágenes satelitales.....	12
2.1.13. Procesamiento digital de imágenes satelitales multitemporales .....	14
2.1.14. Clasificación de imágenes satelitales .....	14
2.2. Estado del arte.....	16
III. MATERIALES Y METODOS .....	20
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	20
3.1.1. Ubicación.....	20
3.1.2. Características climáticas .....	20
3.1.3. Ecología.....	20
3.1.4. Fisiografía.....	20
3.1.5. Suelos .....	20
3.1.6. Hidrografía .....	20
3.1.7. Accesibilidad .....	21
3.2. Materiales y equipos .....	23
3.2.1. Materiales .....	23

3.2.2.	Equipo.....	23
3.3.	Criterio de investigación .....	23
3.3.1.	Nivel de la investigación .....	23
3.3.2.	Tipo de la investigación.....	23
3.3.3.	Variable de la investigación .....	23
3.3.4.	Operacionalización de las variables .....	23
3.3.5.	Diseño de la investigación.....	24
3.3.6.	Población y muestra .....	24
3.3.7.	Análisis estadístico .....	24
3.3.8.	Método de la investigación.....	24
3.4.	Metodología .....	25
3.4.1.	Identificación y cuantificación el cambio de uso de la tierra para los años 2012, 2017, 2022 mediante técnica de teledetección, en la cuenca del río Challhuayacu .....	25
3.4.2.	Estimar la tasa de deforestación para el periodo 2022 al 2012 en la cuenca del río Challhuayacu.....	26
3.4.3.	Vincular la tasa de deforestación al cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Challhuayacu.....	27
IV.	RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	28
4.1.	Identificación y cuantificación el cambio de uso de la tierra para los años 2022, 2017, 2012 mediante técnica de teledetección, en la cuenca del río Challhuayacu .....	28
4.2.	Estimación de la tasa de deforestación para el periodo 2012 al 2022 en la cuenca del río Challhuayacu.....	31
4.3.	Vinculación de la tasa de deforestación al cambio de uso de la tierra, en la cuenca del río Challhuayacu.....	34
V.	CONCLUSIONES .....	39
VI.	PROPUESTA A FUTURO .....	40
VII.	REFERENCIAS.....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tablas</b>	<b>Páginas</b>
1. Características de las Imágenes Landsat 8 .....	14
2. Variables, dimensiones, indicadores e instrumentos que intervienen en el estudio.....	24
3. Matriz de transición con ganancias y pérdidas .....	27
4. Cobertura y uso de la tierra en los años 2012, 2017 y 2022.....	28
5. Cambio de uso de la tierra periodo 2012 al 2022 .....	29
7. Tasa de deforestación periodo 2012 al 2022 .....	31
8. Matriz transición de la deforestación y cambio de uso .....	34
9. Matriz transición de deforestación y cambio de uso años 2017 - 2022.....	36
10. Coordenadas y tipo de cobertura tomadas en campo en la cuenca Challhuayacu.....	49
11. Uso actual de la tierra 2022 de la cuenca Challhuayacu. ....	52
12. Uso actual de la tierra 2017 de la cuenca Challhuayacu. ....	52
13. Uso actual de la tierra 2012 de la cuenca Challhuayacu. ....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Páginas</b>
1. Pérdida de bosque 2001-2019 .....	9
2. Pérdida de bosques húmedos amazónicos por departamento en el 2019. ....	10
3. Cobertura y pérdida de bosque húmedos amazónico por departamento 2019.....	11
4. Mapa de ubicación de la cuenca Challhuayacu.Materiales y equipos.....	22
5. Cambio de uso de la tierra en los periodos 2012 al 2022. ....	30
6. Secuencia de los cambios de uso de la tierra en los periodos 2012 al 2022.....	31
7. Cambio de cobertura y uso de la tierra en los periodos 2012 al 2022.....	32
8. Mapa de concentración de la deforestación.....	33
9. Mapa de cambio de cobertura año 2012 al 2017 .....	35
10. Mapa de cambio de cobertura año 2017 al 2022 .....	37
11. Georreferenciación del cultivo de cacao parte baja de la cuenca .....	54
12. Georreferenciación del cultivo de cacao parte media de la cuenca.....	54
13. Cruzando el río Challhuayacu .....	55
14. Toma de punto de cultivo de café parte alta de la cuenca .....	55
15. Toma de punto de cultivo de coca .....	56
16. Vista panorámica de un predio con sus animales domésticos .....	56
17. Visita a un agricultor dentro de la cuenca Challhuayacu .....	57
18. Toma de punto de un terreno degradado de la cuenca Challhuayacu .....	57
19. Toma de punto cultivo de coca con plátano cuenca Challhuayacu .....	58
20. Vista panorámica de la cuenca Challhuayacu .....	58
21. Mapa de uso de la tierra de la cuenca del río Challhuayacu año 2012.....	59
22. Mapa de uso de la tierra de la cuenca del río Challhuayacu año 2017 .....	60
23. Mapa de uso de la tierra de la cuenca del río Challhuayacu año 2022.....	61
24. Mapa de deforestación de la cuenca del río Challhuayacu año 2012 a 2017 .....	62
25. Mapa de deforestación de la cuenca del río Challhuayacu año 2017 a 2022 .....	63
26. Mapa de cambio de uso de la cuenca del río Challhuayacu año 2012 a 2017.....	64
27. Mapa de cambio de uso de la cuenca del río Challhuayacu año 2017 a 2022.....	65

## RESUMEN

La deforestación es un problema cada vez mayor, consecuentemente ocasiona efectos negativos en la biodiversidad, en tal sentido esta investigación tuvo como objetivo estimar la deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Challhuayacu, provincia Tocache, San Martín, asimismo el enfoque fue cuantitativo de tipo aplicada, nivel predictivo y diseño no experimental, cabe resaltar, que la muestra estaba conformada por 6 categorías identificadas en la cuenca mencionada, los cuales son los siguientes: áreas urbanizadas (AU), áreas agrícolas heterogéneas (AAH), pastos (P), bosque (Bo), áreas sin o con poca vegetación (AsPV) y cuerpo de agua (CA).

Por tanto, el resultado final del índice estimado de deforestación reflejó una pérdida acelerada de 60,83 ha/año de los bosques para el periodo 2012-2022 en la cuenca del río Challhuayacu, cobrando mayor magnitud en la parte baja de dicha cuenca, debido al aumento de las áreas urbanizadas y agrícolas de esta forma se demostró que es altamente significativa.

**Palabras claves:** Deforestación, cobertura boscosa y cambio de uso de la tierra.

## ABSTRACT

Deforestation is an increasingly large problem, consequently, it causes negative effects on the biodiversity. With this in mind, the objective of this research was to estimate the deforestation linked to the change in land use within the Challhuayacu river watershed in the Tocache province of San Martin, [Peru]. At the same time, the focus was quantitative, of an applied type, at a predictive level and of a non-experimental design. It is worth highlighting that the sample was made up of six categories that were identified for the watershed in mention, which were the following: urbanized areas (AU\*), heterogenous agricultural areas (AAH\*), grasses (P\*), forest (Bo\*), areas without and with minimal vegetation (AsPV\*), and bodies of water (CA\*) (\*denotes acronyms in Spanish).

Thus, the final result of the estimated deforestation index reflected an accelerated loss of 60.83 ac/year for the forests during the 2012 – 2022 period within the Challhuayacu river; with the low part of the watershed being at a greater magnitude due to the increase in the urbanized and agricultural areas. In this fashion it was demonstrated as being highly significant.

**Keywords:** deforestation, forest cover, change of land use

## I. INTRODUCCIÓN

Desde 1990 al 2020 se ha perdido a nivel mundial aproximadamente 178 millones de hectáreas de bosque (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). El Perú no es ajeno a esta realidad; en todo el país, la pérdida forestal se está produciendo a un ritmo de 160.000 has/ año (Ministerio del Ambiente [MINAM], s.f.), debido principalmente a la agricultura de migratoria, la minería ilegal y la construcción de carreteras. Esta amenaza no es nueva en la región de San Martín, donde la selva amazónica ha sido completamente reemplazada por cultivos y ganado.

La resolución ministerial N° 135-2013-MINAM aprueba el estudio sobre la deforestación y uso del suelo, parte de los "estudios especializados" de la guía metodológica para elaborar instrumentos técnicos sustentatorios en el ordenamiento territorial, complementando los resultados de la zonificación ecológica y económica (RM N° 081-2016-MINAM). No obstante, la pérdida y degradación forestal han aumentado a un ritmo alarmante. Entre 2001 y 2019, se registraron 2 433 314 hectáreas de pérdida de bosques húmedos amazónicos, según el Ministerio de Ambiente peruano (Geo bosques, 2020), resultando en un promedio anual de 128 069 hectáreas.

Ante estos alarmantes resultados de deforestación, se hace imprescindible realizar estudios más elaborados que utilicen datos de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para conocer mejor nuestro entorno. Esto permitirá identificar las áreas más vulnerables a cambios, siendo fundamental para la toma de decisiones en la planificación territorial. (Dzieszko, 2014).

Por lo tanto, surge la necesidad de investigar el comportamiento de la deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra. Planteándose para esto la siguiente interrogante ¿Cuánto es la deforestación vinculada del cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Challhuayacu, provincia de Tocache, San Martín? y como hipótesis se pretende demostrar que: La deforestación vinculada al cambio de uso de a tierra es altamente significativa en la cuenca río Challhuayacu, provincia de Tocache, San Martín.

A pesar de los estudios recientes sobre la pérdida de bosques en la región San Martín, existe escasa información sobre el monitoreo sistemático a nivel provincial. Por ello, es urgente generar datos espaciales y precisos sobre la deforestación y el cambio en el uso del suelo, que permitan cuantificar la pérdida de la cubierta boscosa y los usos del suelo, apoyando así a las autoridades en el sector forestal y ambiental en la toma de decisiones.

**1.1. Objetivo general**

Estimar la deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Challhuayacu, provincia Tocache, San Martín.

**1.2. Objetivos específicos**

Identificar y cuantificar el cambio de uso de la tierra para los años 2012, 2017, 2022, mediante técnicas de teledetección, en la cuenca del río Challhuayacu.

Estimar la tasa de deforestación para el periodo 2012 al 2022 en la cuenca del río Chalhuayacu

Vincular la tasa de deforestación al cambio de uso de la tierra, en la cuenca del río Challhuayacu.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Marco teórico**

#### **2.1.1. Cobertura y uso de la tierra**

La cubierta vegetal mide la porción de tierra cubierta por plantas o tipos de vegetación, que se refiere a la cobertura vegetal de un país o región. Las formas biológicas, como árboles, arbustos y plantas herbáceas, crean variaciones en la vegetación, dando lugar a ecosistemas como bosques, arbustos y pastizales (Ñique et al., 2006).

Comprender la cubierta y el manejo del suelo es esencial para la gestión sostenible de los recursos naturales, la protección de la biodiversidad y la mitigación de los impactos en los ecosistemas y el cambio climático. (FAO, 2015).

En los últimos diez años, el rápido crecimiento socioeconómico llevó a mayores cambios en el manejo del suelo (Tan et al., 2020), y el rápido desarrollo y descontrolado de la población y la evolución industrial también están cambiando constantemente el patrón de manejo del suelo (Naikoo et al., 2020).

#### **2.1.2. Cambio de uso de la tierra**

El cambio de uso de la tierra es uno de los impulsores clave más comunes y activos del uso de la tierra superficial y del cambio de paisaje (Hersperger et al., 2018), y desempeña un papel importante en el cambio ambiental regional y global (Wu et al., 2021). Es uno de los principales impulsores de la reducción global de la biodiversidad y la pérdida de hábitat (Auffret et al., 2018) y, de hecho, si esta transformación cambia hábitats importantes para plantas y animales grandes, los cambios pueden ser muy graves (Islam et al., 2018), razón por la cual el CUSCV se considera un problema urgente que hoy en día está enfrentando el mundo, ya que estas variaciones en su mayoría no se planifican y se expresan en forma de desgaste ambiental (Rasool et al., 2021).

Cambiar el uso del suelo no es solo uno de los efectos de la mayoría de las características biofísicas en la tierra, sino también la principal fuerza impulsora del cambio climático (Ruiz & Sanz, 2020).

Los cambios en el manejo y cubierta se producen cuando los agricultores sustituyen los cultivos de subsistencia por cultivos de cereales, a menudo en función de la demanda del mercado y las oportunidades económicas (Burra et al., 2021). La actividad agrícola es el proveedor importante de alimentos y desempeña un rol vital en el desarrollo económico (Rettore et al., 2020). Las alteraciones en el manejo del suelo están estrechamente relacionadas

con la actividad agrícola, la extracción de recursos y la urbanización (Zhang et al., 2020).

### **2.1.3. Cambio de la cobertura vegetal**

Los cambios en la cubierta terrestre causados por el manejo del suelo no necesariamente significan desgaste del suelo. Mientras, CUSCV es uno de los impulsores básicos del cambio global (Mishra et al., 2020), pero en la mayoría de los casos la variación de manejo del suelo es resultado de diversos factores humanos, actividades perturbadoras como pérdida forestal y la conversión de bosques en tierras agrícolas o asentamientos humanos (Chowdhury et al., 2020).

La planificación y gestión de recursos naturales se ve influenciada por el estudio de la variación temporal y espacial del manejo y la cubierta del suelo (Islam et al. 2018). La dinámica del suelo depende en gran medida de la vegetación, siendo los bosques y humedales reguladores clave de climas, captadores de agua y preventores de erosión (García et al. 2019; Ferreira et al. 2019, citado por Pabón, 2022).

El análisis de la cubierta y manejo del suelo implica clasificar los diferentes usos humanos en un área específica. Este análisis es crucial, ya que las tendencias en el uso del suelo están cambiando rápidamente a niveles local, regional y global. A escala global, la información sobre las variaciones en el uso del suelo es a menudo incompleta e imprecisa (Bocco & Mendoza, 2001).

Para comprender y predecir la dinámica del paisaje, es importante describir el manejo del suelo en relación con la actividad humana. Esto proporciona un marco para desarrollar políticas de sostenibilidad y evaluar la dinámica de los ecosistemas (Ojima et al., 1994, citado por Ríos, 2023).

Debemos prestar atención a las variaciones en la vegetación y el uso del suelo con el tiempo en áreas específicas. Valorar estas tasas de cambio es fundamental para identificar tendencias en la pérdida de bosques, erosión, degradación y pérdida de biodiversidad, lo que a su vez ilumina las actividades productivas humanas en el área (Pinto et al. 2016).

### **2.1.4. Causas del cambio de cobertura y uso de la tierra**

#### **2.1.4.1. La expansión agropecuaria**

Además de proporcionar madera y forraje, los bosques también benefician al medio ambiente. Sin embargo, una parte importante del suelo reservado para la actividad agrícola y ganadera se creó mediante una tala extensa e ilógica (Pérez et al., 2008).

#### **2.1.4.2. La minería**

La actividad de corto plazo de la minería tiene efectos que

perduran por años, especialmente en zonas boscosas. El 30% de los bosques primitivos del mundo enfrenta amenazas por la minería y la extracción de petróleo. La gran cantidad de agua requerida para la minería disminuye el nivel freático, lo que provoca el secado de pozos y manantiales. Las sustancias tóxicas eventualmente contaminan el agua, y esta polución persiste durante muchos años. Lillo (2006), citado por Saldaña (2010).

#### **2.1.4.3. Económicos y tecnológicos**

Se refiere a variables económicas y políticas agrarias que dañan los costos, gravámenes y subsidios de los insumos y productos de empleo de suelo directamente.

#### **2.1.4.4. Demográficos**

El desarrollo como la reducción de la población afecta la forma en que la gente usa el suelo. Esta variación también afecta la fuerza laboral, la migración, la urbanización y otros factores, la que tiene el impacto mayor y quizás más significativo es la migración.

#### **2.1.4.5. Apertura de vías de comunicación**

En la fase de tala de árboles, los nuevos caminos en el bosque desempeñan un papel fundamental. Tras su construcción, los micro agricultores dedicados a la agricultura de tala y quema comienzan a talar y cultivar la tierra. Asimismo, los buscadores de oro sienten la presión para despejar caminos. El manejo del suelo se intensificó con la llegada de los grandes productores. (Martino, 2007).

#### **2.1.4.6. Deforestación**

Según la FAO (2010), la deforestación se define como la conversión de un bosque a otra práctica de gestión del suelo, lo que implica una reducción sostenible de la cobertura del dosel por debajo del 10%. La principal causa de la pérdida de tierras protegidas y la aparición de diferentes fases de erosión es la deforestación, que afecta el equilibrio global del agua atmosférica, altera los ciclos hidrológicos y contribuye al calentamiento global. Además, provoca la pérdida de biodiversidad y la degradación de hábitats.

Según Dioses (2013) y Luque – Ramos (2021), la tala de árboles a menudo roza la ilegalidad, especialmente cuando se realiza de manera incontrolada, lo que resulta en la destrucción de grandes extensiones de bosques tropicales y la pérdida de hábitats y biodiversidad.

Según el Proyecto de Monitoreo de la Amazonía Andina (MAAP, 2017), la deforestación en la Amazonía peruana alcanzó 143,425 ha en 2017. Las regiones más afectadas fueron Ucayali y Huánuco en la Amazonía central, Madre de Dios en el sur, el noreste

de San Martín y Santa María de Nieva en Amazonas. Las principales causas de la deforestación en Perú son la actividad agropecuaria, agrícola y ganadera, junto con la expansión de la palma aceitera.

Resultados y estudio de la deforestación en el país. En 2019, la selva amazónica perdió 148 426 ha, una disminución del 4,1% respecto de las 154 766 ha reportadas en 2018, esto demuestra que la tala continúa en una superficie de unas 150 000 ha. En el mismo período, San Martín registró una pérdida de 20 149 ha de bosque húmedo amazónico, siendo específicamente para la provincia de Tocache de las 368 728 ha de cobertura boscosa que presenta se perdieron 2 447 ha, reportado por el (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2020).

#### **2.1.4.7. Las políticas gubernamentales**

Se sabe que uno de los peores tiempos de pérdida forestal en la Amazonía sucedió en los años 1980 y 1990. Los proyectos especiales estatales para la Colonización de la Amazonía Peruana (PE) se encuentran en fase de implementación y tiene como principal objetivo promover la pretendida ocupación del territorio y las conexiones regionales a través de caminos marginales de la selva. (IIRSA-SUR (2006), citado por Saldaña (2010).

#### **2.1.5. Causas de la deforestación**

La agricultura migratoria, la pérdida forestal, la minería ilegal y el tráfico de drogas son los impulsores primordiales de la deforestación, según la investigación del Centro Estacional del Planteamiento Estratégico (CEPLAN). (Alarcón et al., 2016).

- **Agricultura migratoria andina**

Las actividades agrícolas de la migración se definen como un conjunto de tecnologías utilizadas por los agricultores con instrumentos agrícolas básicos, no invierten en ningún capital, el fin básico es producir comida para ellos mismos (Dourojeanni, 2016). Según la FAO, se conoce como la práctica de establecer claros dispersos en áreas de vegetación natural protegida (bosques o pastizales arbolados) y luego abandonarlos cuando el suelo está agotado, infértil o degradado. Bajo este sistema, las familias construyeron ciudades y emigraron en busca de nuevas tierras fértiles (Dioses, 2013).

- **Tala Ilegal**

Según el Organismo de Supervisión de los Recursos Naturales y de Fauna Silvestre – OSINFOR (2017) indicó que la pérdida de bosques es un problema que ha enfrentado el Perú. En cuanto al sector forestal, la tala ilegal tiende a apuntar a especies arbóreas de alto valor comercial como caoba, cedro y cumala.

- **Minería ilegal**

La minería informal e ilegal representa el principal problema ambiental de la minería en el país (Anto, 2020). Esta actividad implica la extracción descontrolada de minerales metálicos (como el oro) y no metálicos (como arcilla y mármol), sin regulación social ni ambiental por parte del estado peruano (MINAM, 2013). Su incremento ha causado daños ambientales, como la deforestación y la proliferación de actividades criminales, siendo un ejemplo la ciudad de Madre de Dios, donde sus habitantes se dedican a la minería ilegal (Clavo, 2015).

Los factores que contribuyen a la deforestación se pueden clasificar en cuatro categorías:

Factores institucionales y políticos: Inadecuadas políticas, falta de coordinación entre agencias, ausencia de proyectos de uso de la tierra, regulaciones obsoletas y escasa disponibilidad de información pública, así como un bajo compromiso cívico.

Factores económicos: Necesidades financieras limitadas, distribución desigual de la riqueza, alta demanda de madera tanto nacional como internacional, y escasa inversión pública en sectores forestales y agrícolas.

Factores técnicos: Falta de avances tecnológicos en agricultura, escasas oportunidades, limitada asistencia técnica para un crecimiento agrícola sostenible y deficiencias en capacitación y difusión de información.

Factores sociodemográficos y culturales\*\*: Influencia de la migración rural-urbana y la conciencia ecológica (Magbma y FAO, 2018).

Para Majluf (2017) las causas que explican la pérdida de los bosques amazónicos en Perú son variadas y complejas, ya que están relacionadas con los problemas estructurales del país como son la informalidad, la pobreza, la corrupción y también el «Sectoralismo», que es una propiedad común a los países de la región, que hace referencia al diseño y aplicación de leyes, planes, programas y proyectos nacionales sin una visión integral, en donde cada sector del estado o ministerio trabaja sin coordinación con sus homólogos, sin que se planteen objetivos ni planes de trabajo comunes.

#### **2.1.6. Índice de deforestación**

El objetivo de la estimación de la deforestación es comprender el estado del bosque en dos momentos diferentes en el tiempo. Esto volvió más fácil a lo largo de los años debido a la evolución de tecnologías avanzadas, especialmente la ciencia de la teledetección. Los cambios en la cubierta de la tierra se determinaron al comparar dos mapas totales de uso del suelo y cubierta vegetal y creando nuevos mapas que muestran las transiciones

entre los años de la encuesta (Lanly, 2003).

Una forma de medir la pérdida de bosques es analizando imágenes de satélite; la tasa de cambio anual se puede calcular a partir de la información obtenida durante el procesamiento de imágenes, esto implica comparar la cobertura del suelo en la misma área en dos momentos diferentes utilizando la Ecuación que calcula el índice de deforestación propuesto por la FAO en 1995 (Puyravaud, 2002).

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1} \cdot 100$$

Donde:

A1: cobertura vegetal o uso del suelo en el tiempo inicial

A2: cobertura vegetal o uso del suelo en el tiempo final

T1: periodo inicial

T2: periodo final.

#### **2.1.7. Tasa de deforestación**

Después de procesar los datos obtenidos por cada satélite, también puede calcular la reducción anual promedio del bosque durante un período determinado (ha/año). Puede obtener una velocidad de corte del bosque en un área específica de la ecuación:

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1}$$

Donde:

A1: cobertura de bosque en el periodo inicial

A2: cobertura de bosque en el periodo final

T1: periodo inicial

T2: periodo final. (Puyravaud, 2002).

Número de hectáreas de bosque o superficie boscosa que se pierden cada año debido a actividades humanas contra la naturaleza, especialmente cuando los árboles caen sin un manejo adecuado y dan paso a los cultivos. Se define como el número de hectáreas de bosque o superficie forestal que se pierden cada año (Carranza, 2017).

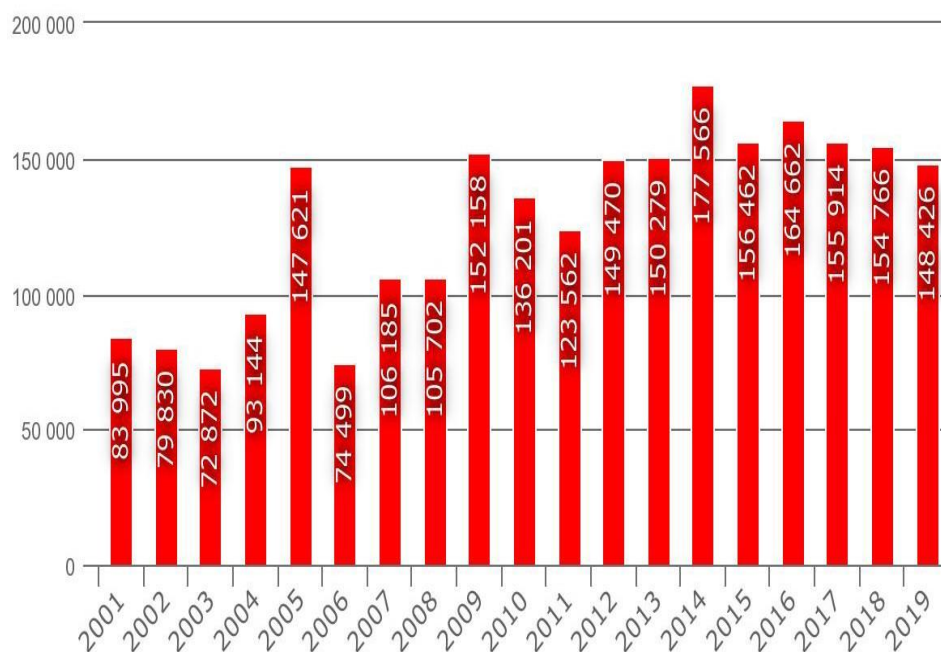
#### **2.1.8. Cálculo de la tasa de deforestación**

Esto se realiza utilizando los datos de áreas de deforestación obtenidos al comparar la cobertura forestal natural en dos períodos de tiempo diferentes, utilizando la herramienta de operación entre mapas en formato raster (imágenes satelitales), mapeando así el mapa de cambio de cobertura forestal (Ramírez et al., 2017). Esto se hace para ejecutar el programa.

### 2.1.9. Panorama de la deforestación y la degradación

Aunque los ecosistemas forestales brindan importantes beneficios a la sociedad, su preservación atraviesa dos amenazas principales: la deforestación y la degradación. Según la FAO (2018), la pérdida forestal es la conversión de los bosques a otro uso del suelo, ya sea causada por el hombre o no. Esto no es una excepción en los países tropicales y Perú, que es la principal causa del cambio de uso del suelo y será explicado en este trabajo.

La segunda amenaza es la degradación forestal, que es la disminución o el deterioro de la calidad de los bosques. Hablamos de degradación cuando un bosque se pierde como consecuencia de la tala de árboles u otros elementos, o cuando su capacidad para dar todos los servicios ecosistémicos ha disminuido sin un manejo y restauración adecuados (MINAM, 2016). Si miramos los números, la pérdida de selva tropical en la Amazonía en lo que va de 2019 es de 148 426 hectáreas, un poco menos que la pérdida reportada el año pasado (154.766 hectáreas). Si se consideran los resultados de los últimos años, esto significa que la deforestación en el Perú se está estabilizando. (Figura 1).



Fuente: Geobosques, (2020).

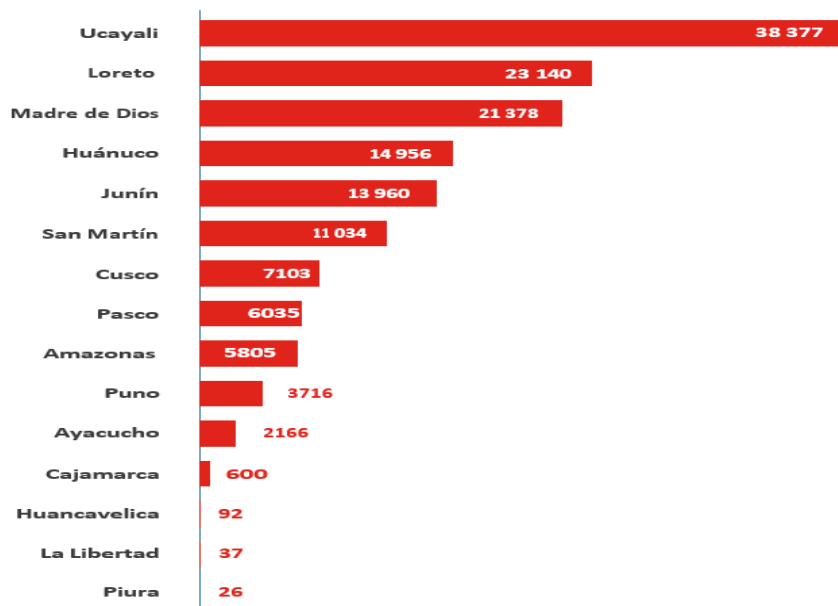
**Figura 1.** Pérdida de bosque 2001-2019

Entre el 2001 y el 2019 los bosques húmedos amazónicos perdieron 128 069 hectáreas; pero en los últimos cinco años, entre el 2015 y el 2019, el promedio es de 156 046 ha. Entre el 2001 y el 2019 se perdieron 2 433 314 ha de bosques húmedos amazónicos equivalente a la extensión aproximada del departamento de Ica.

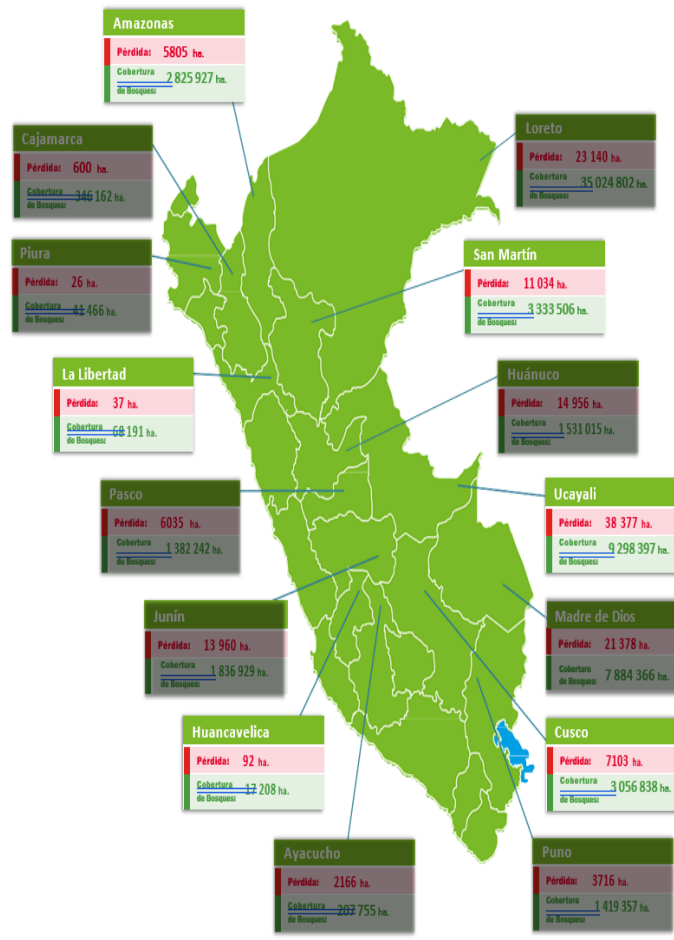
En la Figura 2 y 3, se observa el ranking de los departamentos que presentan mayor nivel de pérdida de bosques, Ucayali ocupa el primer lugar con (38 377 ha), seguido de Loreto, que ocupa el segundo lugar con (23 140 ha), Madre de Dios figura en el tercer lugar con (21 378 ha), Huánuco en cuarto lugar con (14 959 ha), Junín en quinto lugar con (13 960 ha) y San Martín en el sexto lugar con (11 034 ha) al año 2019 (MINAM, 2021).

De acuerdo con el reporte publicado por Global Forest Watch en un mapa interactivo, de 2001 a 2019, Perú perdió el 4.0% de la cobertura arbórea desde el año 2000. Asimismo, indica que, en cuanto a bosques primarios perdidos, Perú ocupa el sexto lugar a nivel mundial y tercero en Latinoamérica (Global Forest Watch, 2020).

Del mismo modo, el reporte citado señala que, en Perú, las 3 principales regiones causantes del 59% de toda la pérdida de cobertura arbórea entre 2001 y 2019 son Loreto, Ucayali y Madre de Dios. Sin embargo, un buen indicador es que San Martín al 2019 redujo considerablemente su cifra de deforestación en comparación con el año 2018.



**Figura 2.** Pérdida de bosques húmedos amazónicos por departamento en el 2019.



**Figura 3.** Cobertura y pérdida de bosque húmedos amazónico por departamento 2019.

Las cifras señaladas implican no sólo una reducción de bosques y de hábitats para la maravillosa fauna peruana, sino que implican un deterioro para la calidad de vida humana, ya que la deforestación es responsable de casi la mitad de las emisiones de gases efecto invernadero del país. (La pérdida y desgaste forestal son las principales fuentes de CO<sub>2</sub> global, luego de la quema de combustibles fósiles. Ante estos problemas es necesario entender claramente a los actores y sus causas, las cuales serán analizadas a continuación.

#### 2.1.10. Deforestación en el Perú

Según el MINAM (2016), el Perú tiene una superficie forestal de 73 280 424 has, representando el 57,3% del área del país. Estos bosques se dividen generalmente en bosques húmedos amazónicos (cubren el 53,9% del país y representan el 94% del área forestal total), bosques costeros secos (3,2% del país y el 5,6% del área forestal) y bosques húmedos residuales andinos (0,2% del país y 0,3% de bosques).

En Perú se estima que hay alrededor de 6,800 especies arbóreas, principalmente en los bosques amazónicos, de las cuales solo 20 son explotadas comercialmente para la producción de madera (Cordero, 2012). Los bosques representan un

importante patrimonio nacional, por su tamaño, importancia social y económica, y son un recurso natural renovable. Además, son ricos en genes no descubiertos y proporcionan madera, frutas, fibra, alimentos, medicinas y combustible.

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), desde el año 2000 hasta 2014, se perdieron 1 315 673 hectáreas de bosque, de las cuales 415,278 hectáreas fueron taladas entre 2010 y 2014, resultando en una tasa de pérdida de 103,819 hectáreas al año.

Los departamentos más afectados por la deforestación en la Amazonía durante ese periodo fueron San Martín, Loreto, Ucayali, Huánuco y Madre de Dios, que en conjunto representan el 86% de la pérdida forestal acumulada en los últimos cinco años, mostrando las tasas de deforestación más altas. (MINAM, 2018).

#### **2.1.11. Teledetección**

Según Lillesand (2014), "la teledetección o percepción remota es la ciencia y el arte de obtener datos sobre un elemento, lugar o fenómeno mediante información de equipos sin contacto.

Esto se logra gracias a la interacción entre el sensor y el suelo, a través de la radiación electromagnética, que incluye la emisión, absorción, reflexión, dispersión de energía térmica y conductividad espectral característica de cada elemento en la naturaleza.

Por su parte, Ardila (2013) define la teledetección como una tecnología que captura imágenes de la superficie terrestre mediante sensores en vehículos aéreos, que incorporan energía, tierra, elementos atmosféricos, sistemas de sensores y sistemas de recepción de datos.

También llamado sensores remotos (Chuvienco y Salas, 1996), está definido como la técnica que permite conseguir imágenes de satelitales que observan y monitorean la superficie planetaria usando sensores que presentan una interacción energética, pudiendo ser emitida por energía solar, llamado sensor pasivo o un haz de energía propia llamado sensor activo, todo sistema de sensores remotos está integrado por tres elementos que son el objeto observado el sensor, y flujo de energía (Padilla et al., 2015; Singh, 1989; Chuvienco, 2019; Arai et al., 2011; Baisch et al., 2012).

#### **2.1.12. Imágenes satelitales**

Los satélites con sensores pasivos, al orbitar la Tierra, "barren" su superficie y capturan la energía solar reflejada en diversas longitudes de onda, organizándose en "bandas espectrales". El sensor genera una matriz digital de píxeles (picture x element), que codifica la información de cada banda en un formato descifrado por expertos, formando una imagen llamada "raster". En términos de imágenes, estos se conocen como ND (Nivel Digital)

(NASA, 2004).

Representación visual de los datos de reflectancia del suelo capturados por sensores montados en satélites. Esta información se envía a estaciones terrestres donde son procesadas y convertidas en imágenes, enriqueciendo nuestra comprensión de las propiedades del suelo en distintos rangos espaciales. Las imágenes en formato raster constan de una serie regular de celdas o cuadrículas. A cada uno se le llama píxel y se define un valor numérico correspondiente a la reflectancia recogida por el sensor (INEGI, 2014).

Los conceptos relacionados con los SIGs incluyen procesos interactivos y organizados, influenciados por hardware, software, información geográfica y personas apropiadas, diseñados para capturar, almacenar, gestionar, evaluar, modelar y representar información georreferenciada de una manera específica con el fin de brindar herramientas para una adecuada planificación y gestión, se desarrollan estrategias que ayuden a modelar descriptiva y predictivamente el desarrollo temporal y espacial de los elementos ambientales. (Sastre, 2008, cito por De la Cruz y Muñoz, 2016).

Las imágenes del satélite multitemporal son representaciones visuales de datos capturados por sensores satelitales artificiales, y son muy útiles para identificar y monitorear elementos ambientales y su dinámica del ecosistema. Estas imágenes se convirtieron en herramienta favorable para evaluar y monitorear todos los elementos en el suelo y su comportamiento dentro de un cierto período de tiempo para cambiar el factor decisivo en los pavimentos rurales.

- **Imágenes Landsat:** imágenes que constan de 7 bandas multitemporales desde el nivel visible hasta el infrarrojo medio, la mayoría de las cuales tienen una resolución de 30 mtrs. Las aplicaciones básicas de estas imágenes están centradas en identificar y clasificar las diferentes coberturas que se encuentran en la tierra, determinar la humedad de la tierra, clasificar la vegetación, mapas hidrotermales y análisis multitemporales (Soluciones Integrales en Geomática, 2016).

Las imágenes del satélite Landsat 8 incluyen dos nuevas bandas espectrales: una banda azul profundo (banda 1) para estudios de recursos hídricos y costeros, y una banda infrarroja (banda 9) para detectar cirrus. Cada producto de datos también incorpora una nueva banda de control de calidad (Tabla 3), que proporciona información detallada sobre la presencia de nubes, agua y nieve (IGAC, 2013). Según Ariza (2013), Landsat 8, operado por los sensores OLI y TIRS, consta de 9 bandas espectrales; las bandas 1 a 7 y 9 tienen una resolución espacial de 30 metros, mientras que la banda pancromática (banda 8) tiene una

resolución de 15 metros. Las bandas térmicas 10 y 11 ofrecen temperaturas superficiales más precisas con una resolución de 100 metros. La escena abarca aproximadamente 170 kilómetros de norte a sur y de 183 kilómetros de este a oeste (106 a 114 kilómetros).

**Tabla 1.** Características de las Imágenes Landsat 8

	<b>Bandas</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
<b>Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) February 11, 2013</b>	Banda 1 - Aerosol costero	0.43-0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45-0.51	30
	Banda 3 -Verde	0.53-0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64-0.67	30
	Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85-0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57-1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11-2.29	30
	Banda 8 - Pancromatico	0.50-0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
	*Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60-11.19	100
	*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50-12.51	100

Fuente: COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC.

### **2.1.13. Procesamiento digital de imágenes satelitales multitemporales**

El análisis de datos de sensores remotos a menudo requiere un preprocesamiento (Jensen, 1996). Este proceso, conocido como "Image Preprocessing", busca corregir errores en la adquisición de datos que afectan la calidad de la información del sensor (Chuvieco, 2002). Según MAAP (2017), el procesamiento digital es un conjunto de transformaciones numéricas aplicadas a la matriz original para lograr una representación óptima de las imágenes según sus aplicaciones. Su objetivo es extraer los datos que contienen las imágenes de satélite captadas por los sensores.

En el caso de Landsat, las imágenes a disposición de los usuarios están georreferenciada. También cuentan con corrección del primer factor de error (corrección geométrica), corrección radiométrica y atmosférica, encomendadas a la habilidad y conveniencia del usuario (Bowen, 2018).

### **2.1.14. Clasificación de imágenes satelitales**

Es una herramienta indispensable para la planificación y gestión espacial, siendo las más conocidas y utilizadas las supervisadas y no supervisadas basadas en el análisis de píxeles de la imagen. El análisis de imágenes de objetos es un método avanzado desarrollado

en los últimos años mediante la mejora de algoritmos y software; este tipo de clasificación se basa en el reconocimiento de objetos, es decir, un grupo de píxeles consecutivos con datos y comportamiento similar, y el resultado depende de la resolución de la imagen. (Perea *et al.*, 2009).

La clasificación es un proceso que organiza píxeles en función de diferentes clases o categorías; es decir, un píxel se asigna a una clase si cumple con un conjunto de propiedades (Ramírez-Mejía *et al.*, 2017).

La clasificación digital comienza al definir las categorías a separar en la imagen, basándose en valores numéricos. Para ello, se debe establecer un rango numérico (ND) que permita identificar cada categoría en todas las bandas involucradas. Las clases se definen no solo por los ND, sino también por un grupo de ND que se encuentran cercanos entre sí, con cada categoría mostrando variaciones en torno al ND promedio. Por lo tanto, la fase de formación busca definir con precisión cada categoría a distinguir, considerando su prevalencia en la investigación. (Valdez, 2014).

#### **2.1.14.1. Tipo de clasificación de imágenes**

La clasificación digital consiste en clasificar imágenes multibanda, lo que estadísticamente implica transformar una variable continua (ND) en una escala nominal o categórica (Chuvieco, 1996). Existen dos tipos de clasificación: supervisada y no supervisada. La clasificación supervisada requiere conocimiento del área, obtenido mediante trabajo de campo, y la selección de muestras (áreas de capacitación) para el análisis. En cambio, la clasificación no supervisada se basa en la búsqueda automática de homogeneidad sin conocimiento previo del área. (Alva y Chávez, 2004).

Según Congedo (2016), la clasificación supervisada es un tipo de clasificación semiautomática (también llamada clasificación supervisada), una técnica para procesar imágenes que identifica elementos en imágenes en función de sus características espectrales. Dependiendo de la calidad del sensor, número y clase de cobertura terrestre que se pueden identificar en la imagen pueden cambiar de forma significativa. Hay muchos tipos de algoritmos de clasificación, pero el propósito general es producir mapas temáticos de cubierta de la tierra. Para Jiménez (2019), se trata de una clasificación semiautomática (también conocida como clasificación supervisada), una estrategia de procesar imágenes que ayuda a reconocer recursos desde firmas espectrales.

La clasificación no supervisada implica determinar las clases espectrales de una imagen. No implica ningún conocimiento previo del lugar de investigación, por lo que la actividad humana centrada en descifrar los efectos. (Sánchez, 2009).

## 2.2. Estado del arte

Según Ibáñez y Damman (2014). Realizaron un estudio de cambio de cobertura terrestre para crear escenarios espaciales para la región de Apurímac. La finalidad de la investigación fue determinar la alteración en la cubierta y empleo del suelo y el paisaje en la región de Apurímac. Al estudiar las propiedades de la cubierta terrestre de la cuenca en los años 1986, 1994, 2002 y 2009, el autor concluyó que el análisis de la cobertura terrestre muestra tendencias cambiantes, principalmente en las partes baja, media y baja de las subcuencas en relación con la actividad agrícola durante el período. En las regiones altas, la superficie nevada ha disminuido significativamente. Estas fases de alteración están vinculados a 4 factores o impulsores de variación: desgaste de la cubierta vegetal, agotamiento de las fuentes de agua, minería y eventos climáticos extremos. A nivel del escenario territorial de 2016, calculado mediante el modelo de Markov, se observa que la tendencia del 2002 y 2009 se mantendrá sin cambios, teniendo en cuenta que el estado del modelo también conserva su tendencia.

De La Cruz et al. (2016) Investigó los cambios en la cubierta del manejo del suelo en el municipio de Popayán mediante un estudio de impacto multitemporal de un programa forestal como alternativa de producción en los márgenes de la cuenca del río Magdalena, incluidos los municipios de Popayán, Timbio, Tambo y Sotará, donde la plantación se realiza como parte de las actividades planificadas, utilizando diversos tipos de herramientas paisajísticas. En la zona de evaluación, la cubierta forestal se cuantificó utilizando información de entrada proporcionada por EARTH EXPLORER entre 2003 y 2016; se utilizó ArcGIS para realizar una clasificación supervisada de las distintas cubiertas en la zona de análisis para análisis multitemporal.

Mucha (2020) en su estudio buscó definir y evaluar la cubierta y manejo del suelo actual de la subcuenca Kuna entre 1987 y 2017 mediante de la fotointerpretación de imágenes satelitales Landsat; La clasificación supervisada realizada utilizó el método de cobertura del suelo Corine Land Cover, método adaptado en Perú por el Ministerio de Ambiente con una escala cartográfica de 1/100.000, los resultados arrojan 15 tipos de cobertura clase IV que identifican 5591,81 ha, que representan el 3,28% de la cubierta ha cambiado en el período de estudio. Las variables más significativas son: se han producido cuatro cambios en el mosaico de cultivos, el más significativo es el de tierra desnuda, en 3,53%, con 928,49 hectáreas (1987-1997), el 1,79%, con 453,72 hectáreas (2007-2017), estructura urbana discontinua. 0,77%, con 201,58 hectáreas (1987-1997), 1,03%, con 262,34 hectáreas (1997-2007), 2,20%, con 557,67 hectáreas (2007-2017). El herbazal abierto con afloramiento rocoso produjo cuatro cambios, de los cuales el área minera más relevante es 0,02%, con 11,29 ha (1987-1997), 0,06%, con 32,10

ha (1997-2007), y 0,12%, con 70,34 ha (2007-2017). Los factores que causan las diferencias son de origen humano, como la actividad agrícola, ganadera y actividades económicas, sociales y culturales que dañan el medio ambiente.

Luque – Ramos (2021) llevó a cabo un estudio analítico sobre la pérdida forestal en la región amazónica de Madre de Dios, Perú, con el fin de sistematizar la evidencia de la deforestación e identificar los principales factores responsables. Se revisaron estudios científicos relacionados con "pérdida forestal", "pérdida forestal en la Amazonía peruana" y "pérdida forestal en Madre de Dios", analizando artículos publicados en bases de datos indexadas. Se optó por un diseño descriptivo no experimental y se emplearon métodos de revisión documental para recolectar datos. Los resultados indican que la mayor deforestación se concentra en el sur de la Amazonía, especialmente en Madre de Dios, siendo la minería ilegal y las actividades agrícolas ilegales los factores más significativos, con la minería representando la mayor parte. Este proceso conlleva consecuencias negativas, como la pérdida de biodiversidad provocada por el cambio climático.

La Barreda (2021) realizó un estudio donde manifiesta que la pérdida forestal es un problema que ha surgido gradualmente pero que se ha intensificado en los últimos años, lo que ha resultado en una reducción significativa de la superficie forestal en todo el mundo. Este problema se ha hecho evidente en la Amazonía peruana, una de las regiones más afectadas por la agricultura migratoria, la minería relacionada y la tala ilegal. Los datos sobre la superficie de la Amazonía peruana y las tasas de pérdida forestal registrada en la última década se presentan como parte de la problemática nacional y global. Se detallan las causas de la tala ilegal y los resultados muestran cifras alarmantes que superan las expectativas. Se discuten las razones de la desaparición de estos ecosistemas y se evalúa si las políticas y estrategias de conservación forestal del Perú promueven un equilibrio apropiado entre el desarrollo económico y la sostenibilidad del bosque amazónico para proponer mejoras que permitan a la industria maderera desarrollarse y mejorar las condiciones sociales, económicas y ambientales del país.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Descripción de la zona de estudio**

##### **3.1.1. Ubicación**

La investigación se realizó en la cuenca del río Challhuayacu, ubicada en la provincia de Tocache, departamento San Martín, se encuentra aproximadamente a 3 horas de la ciudad de Tingo María y a 10 minutos de la ciudad de Tocache con destino hacia la ciudad de Juanjui.

##### **3.1.2. Características climáticas**

Posee un clima favorable para la agricultura durante todo el año, con una precipitación anual de 2006 mm, siendo máximas de enero a marzo y mínimas de junio a agosto. La temperatura media anual es de 28 °C, con un leve descenso en junio, julio y agosto. (SENAMHI, 2021).

##### **3.1.3. Ecología**

Según el mapa de clasificación ecológica, la provincia de Tocache combina las llanuras amazónicas donde se ubica la comunidad, no inunda los bosques tropicales, y además muestra una amplia vegetación de especies arbóreas adaptadas a las condiciones climáticas. (GORESAM, 2023).

##### **3.1.4. Fisiografía**

La fisiografía está formada por varios factores como la estructura, orogenia, litología y clima, con características propias, representadas por quebradas escabrosas, colinas altas y bajas con pendientes moderadamente irregulares (GORESAN, 2020).

##### **3.1.5. Suelos**

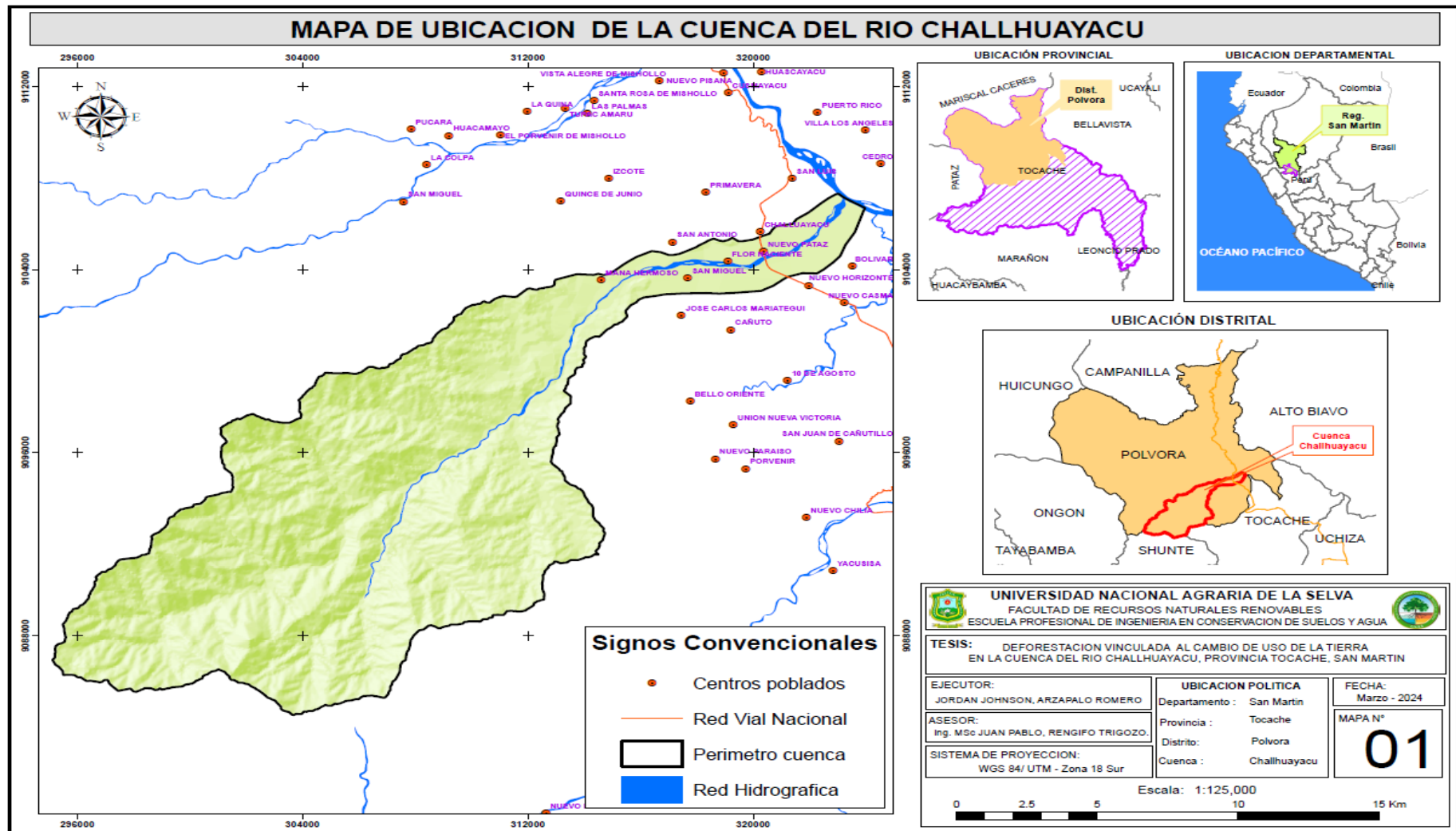
La cuenca Challhuayacu por sus características edafológicas indican que son coluvio aluviales, aptas para cultivos temporales como; arroz, plátano, frutales, pastos y perennes como el cacao, así como especies forestales y nativas, con un contenido medio de materia orgánica (GORESAN, 2020).

##### **3.1.6. Hidrografía**

La cuenca en estudio tiene como desembocadura en el río Tocache, y este a su vez desemboca al río Huallaga siendo la parte del alto Huallaga.

### **3.1.7. Accesibilidad**

Se accedo partiendo desde la ciudad de Tingo María hacia a la ciudad de Tocache; por vía terrestre siguiendo la carretera Fernando Belaunde Terry (Asfaltado). Con un recorrido es de 172 km aprox. y con un tiempo de 2 horas con 30 minutos, en automóvil.



**Figura 4.** Mapa de ubicación de la cuenca Challhuayacu. Materiales y equipos

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Materiales**

Carta nacional a escala 1:100,000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), mapa político del Perú, modelo de elevación digital Alos Palsar (12.5 m de resolución), botas, libreta de campo, Imagen Satelital Sentinel 2B y Landsat, Internet, Software ArcGis 10.x /Qgis, Microsoft Office (Word, Excel), machete, libreta de apuntes, palas, bolsas de polietileno, etc.

### **3.2.2. Equipo**

GPS Garmin, cámara digital, laptop Intel Core i7, Moto lineal.

## **3.3. Criterio de investigación**

### **3.3.1. Nivel de la investigación**

El nivel es predictivo, busca proyectar y predecir la deforestación vinculada a los cambios futuros del uso de la tierra en la zona de la cuenca.

### **3.3.2. Tipo de la investigación**

Aplicada, debido a que se utilizaron herramientas y métodos existentes en el campo geoespacial para abordar un problema concreto y conseguir resultados útiles para la comprensión del proceso de la deforestación vinculadas al cambio de manejo del suelo en la zona de la cuenca.

### **3.3.3. Variable de la investigación**

En la investigación se consideraron las siguientes variables:

#### **Variable dependiente:**

- Deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra

#### **Variables independientes:**

- Cambio de uso de la tierra

### **3.3.4. Operacionalización de las variables**

En la Tabla 2, considera el tipo de investigación descriptiva, variables fijas de investigación y sus respectivas dimensiones, indicadores e instrumentos, donde el cambio de manejo de la tierra es la variable independiente (Y) y la variable dependiente (X) es la pérdida forestal relacionada al cambio de manejo de suelo.

**Tabla 2.** Variables, dimensiones, indicadores e instrumentos que intervienen en el estudio.

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra	Espacial	Clases de Cobertura	ha, %
	Temporal	Tasa de cambio	ha/año
	Espacial	Simulación geoespacial	ha, %

### 3.3.5. Diseño de la investigación

No fue experimental, ya que se centró en la observación y análisis de fenómenos naturales sin manipulación de variables ni grupos de control (Hernández et al., 2003). Es de tipo longitudinal, implicando un enfoque temporal y la recolección de información en diferentes momentos para estudiar la deforestación en cuencas en relación con los cambios y tendencias en el manejo del suelo.

### 3.3.6. Población y muestra

- **Población:**

La población fue tomada toda para estudiar la zona de la deforestación vinculada al cambio de uso de la tierra de la cuenca del río Challhuayacu.

- **Muestra:**

La muestra identificada fueron las seis coberturas y uso de la tierra identificadas dentro de la superficie de la cuenca.

### 3.3.7. Análisis estadístico

Se realizaron análisis estadísticos descriptivos espaciales y temporales para comprender las propiedades y patrones de variación en el tiempo de la pérdida forestal, relacionados con los cambios en el manejo del suelo en la cuenca Challhuayacu.

Se utilizó los siguientes softwares; QGis 10.2., ArGis 10.5, para comprender los resultados de este análisis. Estos programas permiten análisis estadísticos y gráficos sin conocimiento de la sintaxis de comandos del sistema, también permiten organizar y analizar datos, así como ordenar y realizar diversos análisis estadísticos.

### 3.3.8. Método de la investigación

Se puede determinar estadística descriptiva temporal, calcular las tasas de pérdida forestal y vincularlas a la variación del manejo del suelo a lo largo del tiempo. Las

tendencias y patrones temporales también se identifican a través de series temporales y estudio de gráficos como el estudio de variabilidad espacial.

### **3.4. Metodología**

#### **3.4.1. Identificación y cuantificación el cambio de uso de la tierra para los años 2012, 2017, 2022 mediante técnica de teledetección, en la cuenca del río Challhuayacu**

- **Recopilación de información**

Se recabó información cartográfica de la cuenca en estudio de las páginas oficiales de las instituciones y/o geoportales del estado peruano, siendo información de valor oficial, estos fueron en formato (modelo) vectorial y raster.

- **Descargas de imágenes satelitales**

Para la descarga de las imágenes se utilizó el servicio de la nube de la plataforma Google Earth Engine, para los años 2022 y 2017 se descargaron la colección Sentinel y para el 2012 se descargó la imagen satelital Landsat 5, el nivel de procesamiento de las descargas para ambas imágenes fue a nivel de reflectancia de la superficie, con un porcentaje de nubosidad menor al 10% tal como lo recomienda el Ministerio del Ambiente.

- **Procesamiento de imágenes satelitales**

En esta etapa, se llevaron a cabo las proyecciones al sistema de coordenadas correspondiente al área de estudio, lo que permitió ubicar los datos en una misma referencia espacial. Para ello, se empleó una imagen base georreferenciada (con proyección UTM, zona 18 sur y Datum WGS84) y ortorrectificada. Se generaron puntos de control (GCP's) distribuidos de manera homogénea sobre la imagen, con un error cuadrático medio inferior a 1 píxel. Al finalizar esta fase, se utilizó un formato basado en el Polinomio de Primer Grado para la matriz de transformación, junto con un remuestreo aplicando el método del "Vecino más Cercano".

Posteriormente, se realizaron diversos tratamientos digitales, incluyendo combinaciones de bandas y procesamientos, con el objetivo de mejorar y resaltar las imágenes. Además, se aplicaron correcciones atmosféricas y radiométricas utilizando el software QGIS, apoyándose en el "Plugin" Semi-Automatic Classification, lo que permitió optimizar la apariencia de las imágenes. Como resultado, se logró una interpretación visual y una clasificación más precisa y adecuada.

- **Clasificación de las imágenes satelitales**

El procesamiento de las imágenes satelitales se llevó a cabo utilizando los programas Qgis, con el apoyo del "Plugin" Semi-Automatic Classification, y ArcGis. El proceso comienza con la importación y combinación de la banda 7 (infrarrojo medio) en rojo, la banda 4 (infrarrojo cercano) en verde y la banda 3 (roja) para generar un archivo único por cada imagen.

Se identifican áreas específicas destinadas a la supervisión de la clasificación. En esta etapa, se seleccionan muestras representativas del área de análisis, basadas en zonas de píxeles específicas que coinciden con los datos registrados en campo, así como en otras muestras definidas por el usuario según el conocimiento de la imagen y la zona estudiada.

Para la creación de mapas de cobertura y uso del suelo, se consideran las anotaciones jerárquicas establecidas mediante la metodología Corine Land Cover, adaptada para Perú. Este enfoque permite integrar datos desde el nivel local hasta el regional y nacional.. (MIMAN, 2014).

- **Validación y/o verificación en campo**

Las áreas o superficies de muestreo para validación en campo se identificaron teniendo en cuenta la accesibilidad y por lo tanto se tomaron de la red vial existente en toda la región. Una vez identificadas las áreas de uso de la oficina, se realizan reconocimientos in situ mediante GPS, se configuran puntos de control para calibrar y probar estas áreas y se supervisan los clasificadores seleccionados para realizar la tarea. Luego fueron postclasificados utilizando el software Qgis y su Plugin Sem-Automatic Classification.

### **3.4.2. Estimar la tasa de deforestación para el periodo 2022 al 2012 en la cuenca del río Challhuayacu**

En este proceso se calculó la tasa de deforestación ocurrida entre 2022 y 2012 con base en una fórmula desarrollada por la FAO en 1996.

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

Dónde:

tc = tasa de deforestación (%)

S1 = superficie en la fecha inicial

S2 = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

### 3.4.3. Vincular la tasa de deforestación al cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Challhuayacu

Para vincular la tasa de deforestación se realizó el análisis detallado de los principales usos de la tierra (uso antrópico) que vinieron causando la deforestación en la cuenca, las cuales se ordenaron de mayor a menor impacto, para ello cual se utilizó una matriz de doble entrada propuesta Pontius *et al*, (2004).

**Tabla 3.** Matriz de transición con ganancias y pérdidas

Matriz de transición con ganancias y pérdidas							
Tiempo 2							
	Categoría	Categoría	Categoría	Categoría	Total tiempo 1	Perdidas	
	1	2	3	4			
Tiempo 1	Categoría 1	p11	p12	p13	p14	p1+	p1+ -p11
	Categoría 2	p21	p22	p23	p24	p2+	p1+ -p12
	Categoría 3	p31	p32	p33	p34	p3+	p1+ -p13
	Categoría 4	p41	p42	p43	p44	p+	p1+ -p14
	Total tiempo						
2	p+1	p+2	p+3	p+4	1		
Ganancias	p+1-p11	p+2-p12	p+3-p13	p+4-p14			

Fuente: PONTIUS et al, (2004)

## IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

### 4.1. Identificación y cuantificación el cambio de uso de la tierra para los años 2022, 2017, 2012 mediante técnica de teledetección, en la cuenca del río Challhuayacu

En la Tabla 4, se observa que en la cuenca del río Challhuayacu, el cambio en la cubierta de bosques entre 2012 y 2022 es el indicador más alarmante de alteración ambiental, con una reducción significativa del 2,73% del total de la superficie. Este descenso, de la cobertura de 20 350,86 ha a 19 742,52 ha, refleja las consecuencias directas de las actividades humanas, como la expansión urbana, que casi se ha duplicado, y la agricultura, que aumentó notablemente, presentando más de 400 ha en solo una década. Los pastos, aunque fluctuantes, marcan una tendencia hacia el cambio de uso de tierras naturales por espacios dedicados a la ganadería. Esta información indica el peso creciente de la presencia humana y sus actividades económicas en la región, trayendo consigo la modificación del paisaje natural y plantean serias consideraciones sobre la sustentabilidad a largo plazo y la preservación de los ecosistemas críticos. La FAO (2015) afirma que comprender la cobertura y el uso del suelo es bastante complejo, ya que es un paso importante en la gestión sustentable de los recursos naturales de los que depende la conservación y mitigación de la biodiversidad. En las últimas décadas, el rápido desarrollo socioeconómico ha dado lugar a mayores variaciones en el manejo del suelo (Tan et al., 2020), el crecimiento demográfico rápido y descontrolado y el desarrollo industrial han dado lugar a cambios continuos en los patrones de empleo del suelo aumente (Naikoo et al., 2020).

**Tabla 4.** Cobertura y uso de la tierra en los años 2012, 2017 y 2022

ID	Descripción	Año 2012		Año 2017		Año 2022	
		Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%
1	Áreas urbanizadas (AU)	19,05	0,09	27,41	0,12	40,79	0,18
2	Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	1079,03	4,85	1215,99	5,46	1490,96	6,70
3	Pastos (Ps)	297,56	1,34	383,41	1,72	370,62	1,67
4	Bosque (Bo)	20350,86	91,45	20082,36	90,25	19742,52	88,72
5	Áreas sin o con poca vegetación (AsPV)	145,76	0,66	165,26	0,74	231,26	1,04
6	Cuerpo de agua (CA)	360,87	1,62	378,70	1,70	376,99	1,69
<b>Superficie total</b>		<b>22 253,13</b>	<b>100,00</b>	<b>22 253,13</b>	<b>100,00</b>	<b>22 253,13</b>	<b>100,00</b>

La Tabla 5 y Figura 5, se ilustra el cambio manejo del suelo en la cuenca del río Challhuayacu en el período de 2012 a 2022. Destacando el aumento progresivo de las áreas urbanizadas, con 21,73 ha, reflejando un crecimiento urbano continuo. Las áreas agrícolas

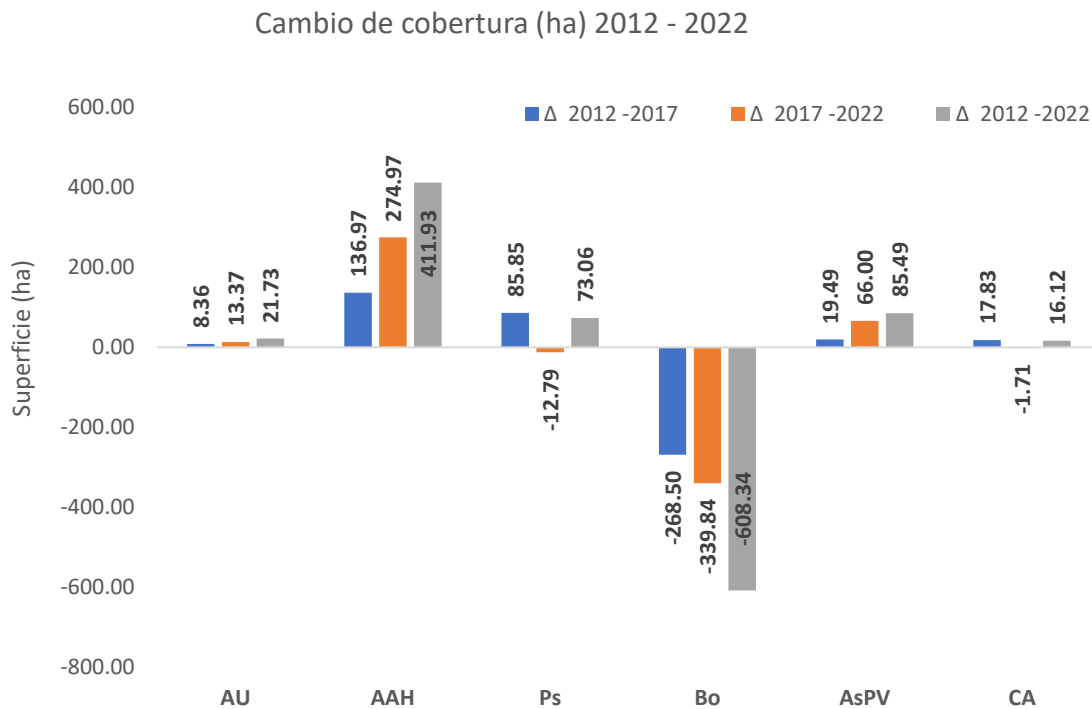
heterogéneas experimentaron un aumento significativo de 411,93 ha, manifestándose como un indicador de la expansión en la agricultura. Los pastos presentan una superficie de 73,06 ha, lo que refleja cambios en las prácticas ganaderas o agrícolas. Sin embargo, el dato más resaltante es la notable reducción de una superficie de bosque de 608,34 ha, reflejada en una considerable pérdida de biomasa forestal. Las áreas sin o con poca vegetación también aumentaron su superficie en 85,49 ha, lo que indica la degradación de nuevas áreas de terrenos. Estos cambios subrayan la dinámica compleja de los ecosistemas frente a las presiones antropogénicas.

Los patrones de alteración de manejo de suelos observados en la cuenca del río Challhuayacu y los factores impulsores identificados en estudios similares en otras regiones de Perú. Estudios anteriores, como los de Ibáñez & Damman (2014) y Alcántara (2014), han señalado la influencia de la actividad agropecuaria, la expansión urbana y la degradación de la cobertura vegetal como factores clave en la transformación de paisajes y la disminución de la cubierta boscosa. De La Cruz et al. (2016) destacan la utilidad del análisis multitemporal para evaluar estos cambios, mientras que Luque-Ramos (2021) y La Barreda (2021) hacen énfasis en las consecuencias de la deforestación, como la pérdida de biodiversidad y los efectos en el cambio climático, y examinan la efectividad de las políticas y estrategias de conservación.

La reducción del 2,73% en la variación de manejo de suelos y el incremento de la actividad antropogénica en la investigación reflejan tendencias observadas a nivel regional y nacional. La dinámica de pérdida forestal que compromete la sostenibilidad a largo plazo y la preservación de los ecosistemas críticos son consistente con los hallazgos en otras regiones del país. Esta información analizada nos indica que existe la necesidad de una gestión sostenible y medidas de conservación enfocadas, así como una reflexión sobre las políticas actuales para enfrentar estos retos ambientales.

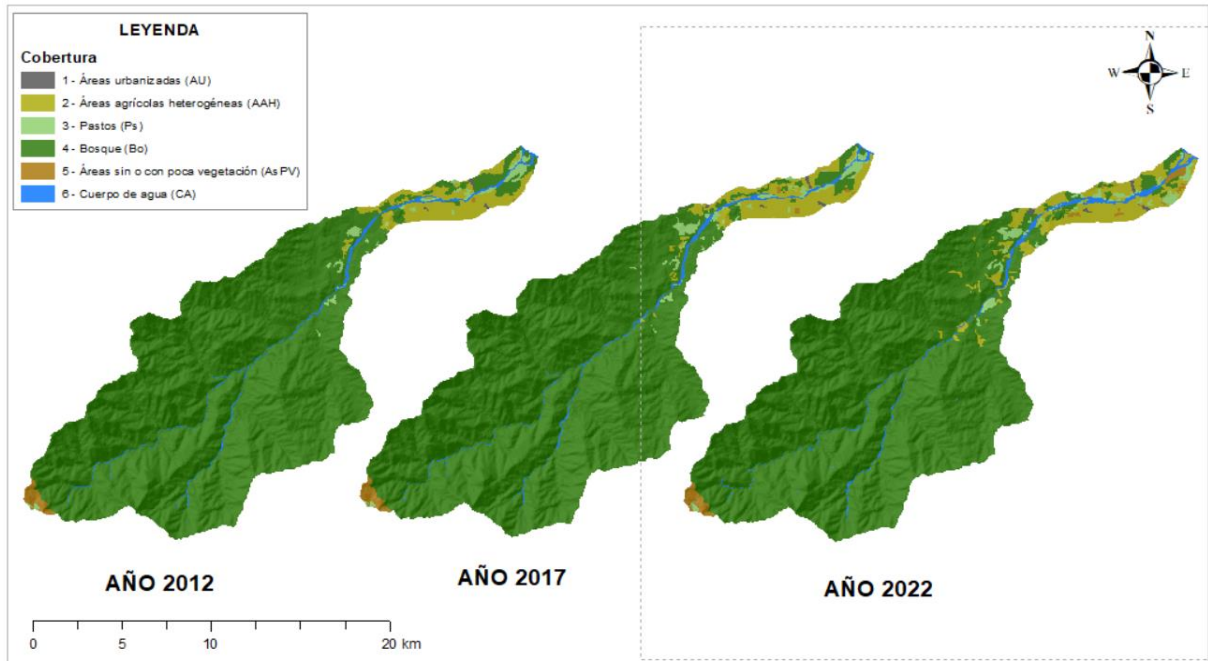
**Tabla 5.** Cambio de uso de la tierra periodo 2012 al 2022

ID	Descripción	Área (ha)		
		$\Delta$ 2012 - 2017	$\Delta$ 2017 - 2022	$\Delta$ 2012 - 2022
1	Áreas urbanizadas (AU)	8.36	13.37	21.73
2	Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	136.97	274.97	411.93
3	Pastos (Ps)	85.85	-12.79	73.06
4	Bosque (Bo)	-268.50	-339.84	-608.34
5	Áreas sin o con poca vegetación (AsPV)	19.49	66.00	85.49
6	Cuerpo de agua (CA)	17.83	-1.71	16.12



**Figura 5.** Cambio de uso de la tierra en los periodos 2012 al 2022.

En la Figura 6, se presenta la serie de mapas de la cuenca del río Challhuayacu de los años 2012, 2017 y 2022 donde se observa una tendencia de crecimiento en las zonas agrícolas y urbanizadas en la parte baja de la cuenca, marcando una expansión significativa de la huella antropogénica a expensas de la cobertura boscosa. Mientras tanto, la cabecera de la cuenca, que alberga la mayor parte del bosque, muestra una reducción en su extensión, subrayando la preocupante dinámica de deforestación que podría comprometer los servicios ecosistémicos y la biodiversidad en la región. Ruiz y Sanz (2020) señalaron que alterar el manejo de la tierra no es solo uno de los principales efectos antropogénicos que amenazan el medio ambiente mediante de cambios en las características biofísicas de la superficie terrestre, sino que también es un importante impulsor del cambio climático. Rettore et al. (2020) Se menciona que la agricultura es el proveedor de alimentos primordial y tiene un rol importante en el desarrollo económico. Zhang et al. (2020) muestra que las alteraciones en el manejo de tierras están ampliamente asociadas a la actividad agrícola, extracción de recursos y urbanización.



**Figura 6.** Secuencia de los cambios de uso de la tierra en los periodos 2012 al 2022.

#### 4.2. Estimación de la tasa de deforestación para el periodo 2012 al 2022 en la cuenca del río Challhuayacu

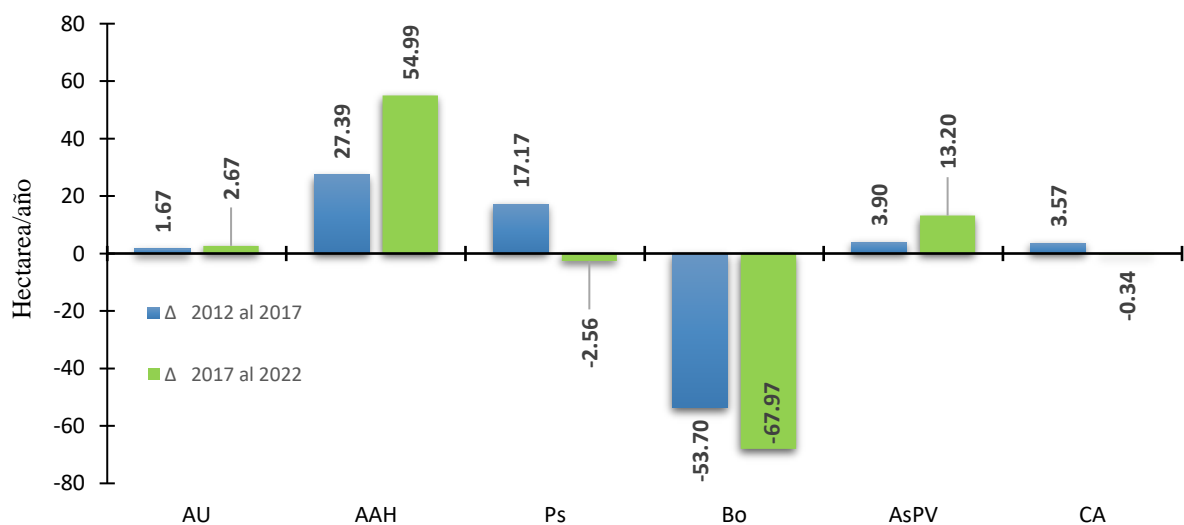
La Tabla 7 y Figura 7, muestra que la tasa de cambio, donde la deforestación medida como la pérdida anual de bosques en hectáreas, se incrementó de manera preocupante en la cuenca del río Challhuayacu entre 2012 y 2022. Específicamente,  $-53,70$  ha/año entre 2012 al 2017 y  $-67,97$  ha/año entre 2017 al 2022. Esta acelerada tasa de deforestación indica una intensificación de las actividades que resultan en la pérdida de cubiertas boscosas, que se vincula con el crecimiento de áreas urbanizadas y agrícolas y un cambio en las prácticas de uso de la tierra. Estos hallazgos son congruentes con los patrones de deforestación observados en otras regiones del país y reflejan una problemática de la presión sobre los ecosistemas naturales por actividades humanas. Lanly (2003) menciona que el propósito de la estimación de la pérdida forestal es conocer la condición del bosque en dos momentos distintos; estas variaciones en la cubierta de la tierra se reconocen comparando dos mapas de manejo de tierras y la cubierta vegetal generando nuevos mapas que indiquen la transición entre los años de análisis, lo cual coincide con el autor, ya que el estudio analizó exactamente cómo ocurrió la fase de pérdida forestal en período de evaluación, que en nuestro caso fue del 2012 al 2022.

**Tabla 7.** Tasa de deforestación periodo 2012 al 2022

ID	Descripción	$\Delta$ 2012 al 2017	$\Delta$ 2017 al 2022	$\Delta$ 2012 al 2022
----	-------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

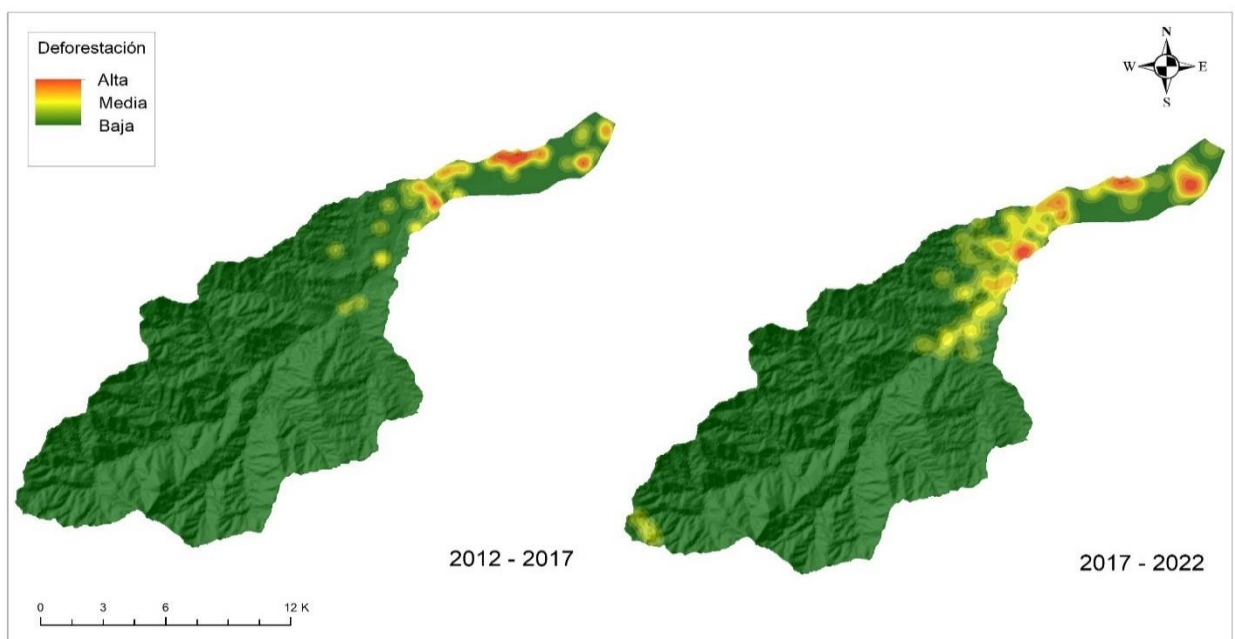
		ha/año	Porc. Anual	ha/año	Porc. Anual	ha/año	Porc. Anual
1	Áreas urbanizadas (AU)	1.67	7.55	2.67	8.27	2.17	7.91
2	Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	27.39	2.42	54.99	4.16	41.19	3.29
3	Pastos (Ps)	17.17	5.20	-2.56	-0.68	7.31	2.26
4	Bosque (Bo)	-53.70	-0.27	-67.97	-0.34	-60.83	-0.30
5	Áreas sin o con poca vegetación (AsPV)	3.90	2.54	13.20	6.95	8.55	4.75
6	Cuerpo de agua (CA)	3.57	0.97	-0.34	-0.09	1.61	0.44

En la Figura 7, muestra el análisis de variación de cubierta y empleo del suelo en hectáreas, de los periodos 2012 al 2022, los cambios más resaltantes fueron la constante pérdida del bosque, con una tasa de deforestación del año 2012 al 2017 con  $-0,27\%/año$ , de 2017 al 2022 con  $-0,34\%/año$ , de 2012 al 2022 con  $-0,30\%/año$ , los que aumentaron en mayor porcentaje fueron: áreas urbanizadas  $7,91\%/año$ , seguido de lugares sin o con poca vegetación  $4,75\%/año$  y zonas agrícolas heterogéneas  $3,29\%/año$  y en menor porcentaje los cuerpos de agua  $0,44\%/año$ . Carranza (2017) mencionó que la tasa de deforestación no es más que la cantidad de hectáreas de bosque o área forestal que se pierden cada año debido a la actividad humana en la naturaleza, especialmente la tala de árboles sin un manejo adecuado o la cantidad de bloques forestales. y la asignación de espacio a los cultivos, definida como el número de hectáreas o parcelas forestales que se pierden cada año



**Figura 7.** Cambio de cobertura y uso de la tierra en los periodos 2012 al 2022

La Figura 8 muestra dos mapas de calor que representan la concentración de deforestación en la cuenca del río Challhuayacu entre los periodos 2012-2017 y 2017-2022. La paleta de colores indica la intensidad de la deforestación, donde los tonos rojos y amarillos representan áreas de alta y media deforestación, respectivamente, y los verdes representan deforestación baja. Se puede observar que, en el periodo más reciente, 2017-2022, la deforestación ha aumentado en intensidad y se ha expandido a más zonas de la cuenca, especialmente en las áreas cercanas a la parte baja, lo que coincide con la aceleración en la tasa de pérdida de bosque mostrada en la Tabla 5. Estos mapas visualizan los datos cuantitativos y confirman la creciente presión sobre los bosques en la región.



**Figura 8.** Mapa de concentración de la deforestación

La FAO (2001) menciona que la apertura de redes viales y la falta de una política de ocupación coherente son factores determinantes en la pérdida de cubierta boscosa en la Amazonía peruana, esta observación se alinea con la acelerada tasa de pérdida forestal identificada en la cuenca del río Challhuayacu. Por su parte Rojas et al., (2019) en su investigación destaca la relación directa entre el incremento en la red vial y la deforestación, así como la influencia de la informalidad en la tenencia del suelo y la migración hacia zonas fronterizas, lo que coincide con las causas de la pérdida forestal encontradas en el presente análisis. Además, las prácticas como la agricultura migratoria, la tala ilegal y la expansión de cultivos ilícitos también están en consonancia con los patrones de deforestación que se muestran en los mapas y tasas de cambio. Por tanto, los resultados obtenidos reflejan no solo un patrón local sino también un problema más amplio en la Amazonía peruana, resaltando la necesidad

de abordar estas cuestiones a través de políticas integradas de uso de la tierra y estrategias de desarrollo sostenible.

#### 4.3. Vinculación de la tasa de deforestación al cambio de uso de la tierra, en la cuenca del río Challhuayacu

La Tabla 8 presenta una matriz de transición de la deforestación y cambio de uso de la tierra que detalla cómo cambiaron las diferentes categorías en la cuenca del río Challhuayacu entre 2012 y 2017. Las filas representan la cobertura en el año 2012, y las columnas representan la cobertura en 2017, la diagonal de la matriz representa el área que permaneció sin cambios de cada cobertura. Se observa que el bosque (Bo) del año 2012 al 2017 permaneció sin cambios 20 049,33 ha, sin embargo, en este periodo hubo una pérdida de 301,82 ha distribuidas en 186,10 ha se transformaron en áreas agrícolas heterogéneas (AAH), 84,02 ha en Pastos (Ps), 22,94 ha en cuerpos de agua (CA), en menor cantidad 5,84 y 2,92 ha en áreas sin o poca vegetación (AsPV) y áreas urbanizadas (AU) respectivamente.

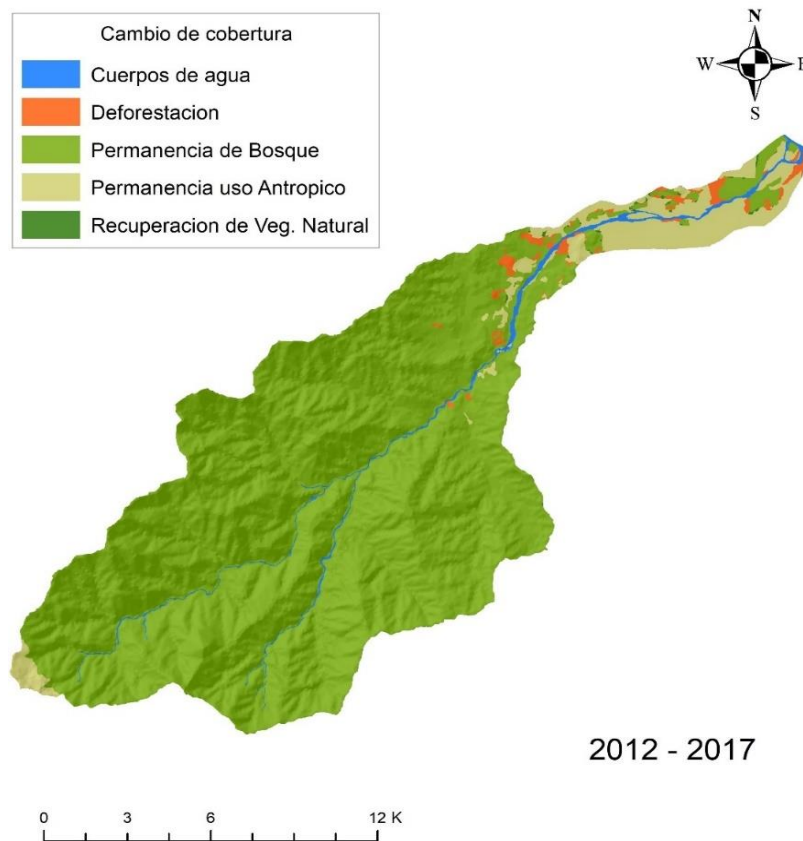
El análisis de esta matriz nos ayuda a entender la dinámica de cambio ocurrido en la cuenca mostrando tendencias importantes, como expansión de áreas urbanizadas a costa de cambio de uso de la tierra de Bo a AU. La matriz también muestra la ganancia o pérdida neta de cada categoría, lo que es crucial para identificar las tendencias de cambio de empleo de suelos y formular estrategias de conservación y gestión sostenible. Barreda (2021) señala que la deforestación es un problema cada vez más evidente en la Amazonía peruana, una de las regiones más dañadas por la agricultura migratoria, la quema asociada, la minería y la tala ilegal, donde las tasas de deforestación son alarmantes y superaron las expectativas. Se discuten las razones de la desaparición de estos ecosistemas y se analiza si las políticas y estrategias de preservación forestal del Perú promueven un equilibrio apropiado entre el crecimiento económico y la sostenibilidad del bosque amazónico para dar propuesta de mejoras que ayuden a la industria maderera a desarrollar y mejorar las condiciones sociales, económicas y ambientales del país.

**Tabla 8.** Matriz transición de la deforestación y cambio de uso

Cobertura y uso de la tierra - año 2017									
Cobertura y uso de la tierra - año 2012	Símbolo	AU	AAH	Ps	Bo	AsPV	CA	área (ha)	Perdida
								Año 2012	(ha)
	AU	16,80	2,25					19,05	2,25
	AAH	7,68	1 009,01	14,40	27,32	20,11	0,43	1 078,95	69,95
	Ps		11,66	281,78	2,60		1,44	297,48	15,71
	Bo	2,92	186,10	84,02	20 049,33	5,84	22,94	20 351,16	301,82

<b>AsPV</b>	6,40				139,22	145,62	6,40
<b>CA</b>	0,48	3,14	3,37		353,88	360,86	6,99
área (ha) año	27,40	1 215,91	383,34	20 082,62	165,17	378,69	<b>22 253,13</b>
2017							
Ganancia (ha)	10,60	206,90	101,56	33,29	25,95	24,82	

En la Figura 9, vemos la alteración de empleo del suelo que hubo en el periodo 2012 al 2017, donde las filas representan la cobertura en el año 2012, y las columnas representan la cobertura en 2017, la diagonal de la matriz representa el área que permaneció sin cambios de cada cobertura. La mayor pérdida se presenta en la cobertura de bosque con 301,82 ha como consecuencia de la agricultura, pastizales y zonas urbanas, permaneciendo la cobertura de bosque 20 049,33 ha, y las zonas de uso antrópico que están en proceso de recuperación a bosque presenta un área no muy significativa de 33,29 ha.; estos cambios se concentran en la parte baja de cuenca Challhuayacu.



**Figura 9.** Mapa de cambio de cobertura año 2012 al 2017

La Tabla 9 muestra el proceso de cambio de las categorías de empleo de suelos en la cuenca del río Challhuayacu entre 2017 y 2022. Al igual que la tabla anterior el bosque (Bo) del 2017 al 2022 permaneció sin cambios 19 553,64 ha, sin embargo la pérdida de bosque en

este periodo fue de 530,34 ha, dicha pérdida está vinculada al aumento de la actividad antrópica, mayor superficie se encuentra en la pérdida por áreas agrícolas heterogéneas (AAH) con 401,00 ha, seguido por cuerpos de agua (CA) con 64,53 ha este proceso se da básicamente por el cambio de curso del río en el transcurso de los años, seguido de la pérdida de bosque a pasto (Ps) con 50,16 ha y en menor cantidad se encuentra la pérdida por zonas sin o poca vegetación (AsPV) con 14,65 ha, la presión que enfrentan los ecosistemas naturales es debido a la expansión de actividades como la agricultura y la urbanización, que son indicadores para comprender la tendencia de cambio así como la dinámica de pérdida de bosque traducidas en deforestación de la cuenca del río Challhuayacu.

**Tabla 9.** Matriz transición de deforestación y cambio de uso años 2017 - 2022

Cobertura y uso de la tierra - año 2022									
Cobertura y uso de la tierra - año 2017	Símbolo	AU	AAHH	Ps	Bo	AsPV	CA	Área (ha) Año 2017	Perdida (ha)
	AU		24,99	2,39					27,38
AAH		14,87	900,31	136,75	100,85	35,46	26,99	1 215,22	314,92
Ps			101,29	143,56	27,87	48,35	61,87	382,95	239,39
Bo			401,00	50,16	19 553,64	14,65	64,53	20 083,98	530,34
AsPV			13,51	16,84	2,34	131,97	0,48	165,14	33,17
CA			18,62	25,17	59,15	0,72	274,80	378,46	103,66
<b>Área (ha) año 2022</b>		39,87	1 437,11	372,48	19,743,84	231,14	428,68		<b>22 253,13</b>
<b>Ganancia (ha)</b>		14,87	536,80	228,92	190,21	99,18	153,88		

La Figura 10 muestra la dinámica de la variación del empleo del suelo del periodo 2017 a 2022, clasificando las áreas en función al tipo y uso de la tierra. La superficie que permaneció como bosque en el periodo asciende a 19 553,64 ha, similar al periodo 2012 -2017 esta se ubicada en la parte alta y media de la cuenca, la categoría “deforestación” con 530,34 ha, se observa en la parte baja de la cuenca, la pérdida de cobertura boscosa o deforestación sigue un patrón del curso del río Challhuayacu, dicha pérdida es básicamente por el aumento de la agricultura. En este periodo hubo mayor pérdida de bosque a consecuencia del aumento progresivo de las actividades antrópicas, lo que con el pasar de los años se vuelve más preocupante el deterioro de los ecosistemas naturales.



**Figura 10.** Mapa de cambio de cobertura año 2017 al 2022

La deforestación es un fenómeno multifacético; la expansión de áreas urbanizadas, agrícolas, y el incremento en pastizales, son aspectos que coinciden con la investigación de Ibáñez (2016) y Alcántara (2014), quienes resaltan cómo el desarrollo de infraestructuras viales puede acelerar la deforestación al facilitar el acceso a zonas previamente forestales. Luque-Ramos (2021) contribuye a este diálogo al señalar las actividades ilícitas y la tala ilegal como causas directas de la pérdida de bosques, aspectos que se ven reflejados en la transición de la cobertura boscosa a áreas con menor vegetación o usos agrícolas. La Barreda (2021) también subraya la importancia de la agricultura migratoria y otros factores antrópicos en la pérdida de bosques, reafirmando la necesidad de estrategias de conservación y gestión sostenible de las tierras.

## V. CONCLUSIONES

1. Mediante la teledetección, se identificó y cuantificó el uso de la tierra seis categorías como Áreas urbanizadas (AU), Áreas agrícolas heterogéneas (AAH), Pastos (Ps), Bosque (Bo), Áreas sin o con poca vegetación (AsPV) y Cuerpo de agua (CA), así como una transformación significativa en el paisaje, con un crecimiento notable de las actividades antrópicas trayendo como consecuencia la pérdida de bosque, en los años analizados 2022, 2017 y 2012 presenta 608,34 ha en la cuenca del río Chalhuyacu.
2. La tasa de deforestación estimada para el periodo 2012-2022 en la cuenca del río Chalhuyacu presenta una pérdida acelerada de bosques de 60,83 ha/año, manifestándose con mayor intensidad en la parte baja de la cuenca, este patrón de cambio en la cobertura boscosa es el resultado de la presión ejercida por el desarrollo antrópico y se debe tomar medidas enfocadas en conservación y gestión sostenible de los recursos naturales.
3. La relación entre la tasa de deforestación y el cambio de uso de la tierra se observó que la deforestación está vinculada al uso de la tierra como: aumento de áreas agrícolas, pastos, áreas sin o poca vegetación y de zonas urbanas, debido a la presión demográfica y la necesidad de la población asentada en la cuenca Chalhuyacu. Esto impera la necesidad urgente de aplicar políticas de conservación efectivas.

## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

Para investigaciones sobre deforestación y expansión agrícola, utilizar imágenes satelitales de alta resolución, reforzando con tecnología de inteligencia artificial y drones, con la finalidad de mejorar el trabajo a un nivel de detalle.

Gestionar a través de los gobiernos de turno proyectos de reforestación a gran escala, priorizando las especies nativas para la restauración de ecosistemas degradados.

Fomentar la concienciación y participación de las comunidades locales mediante programas de educación ambiental, subrayando la importancia de la conservación de los bosques y promoviendo alternativas económicas sostenibles que disminuyan la presión sobre estos ecosistemas.

Incentivar el desarrollo económico local a través de la valorización de los servicios ecosistémicos y ecoturismo, disminuyendo la presión sobre los recursos forestales.

## VII. REFERENCIAS

- Alarcón, G., Díaz, J., Vela, M., García, M., & Gutiérrez, J. (2016). Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999 - 2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado – Inambari). En *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research* (Vol. 18, Número 3). <https://doi.org/10.18271/ria.2016.221>
- Alcántara, G. (2014) *Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra en la región Cajamarca, Perú*.
- Alvarez, A. (2019). Análisis temporal del nivel de la Erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 Y 2017. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica – Perú 90 p.
- Anto, M. (2020). Impacto de la minería y tala ilegal en el desarrollo y la Seguridad Nacional. *Revista de ciencia e investigación en defensa - CAEN*, 1(2), 49-63. <https://recide.caen.edu.pe/index.php/Recide/article/view/12>
- Arai, E., Shimabukuro, Y. E., Pereira, G. y Vijaykumar, N. L. (2011). A Multi-Resolution Multi-Temporal Technique for Detecting and Mapping Deforestation in the Brazilian Amazon Rainforest. *Remote Sensing*, 3(9), 1943-1956. <https://doi.org/10.3390/rs3091943>
- Ardila, J. F. (2013). Aplicación de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso de estudio: Río Soapaga, Sector Paz de Río, Boyacá. Bogotá D. C., 76 p., Vol 23. Universidad Militar Nueva Granada - Ciencia E Ingeniería Neogranadina.
- Ariza, A. (2013). Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá – Colombia. 46 p. <https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Auffret, A. G., Kimberley, A., Plue, J., & Waldén, E. (2018). Super-regional land-use change and effects on the grassland specialist flora. *Nature Communications*, 9(1), 3464. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05991-y>
- Baisch, P., da Silva, R. y Barreto, S. (2012). Determinação do desmatamento através da classificação digital de cenas do Satélite Landsat 5. *Disciplinarum Scientia*, 13(2), 151-158.
- Bocco, M.; & Mendoza, O.; (2001). La dinámica del cambio de uso de la tierra en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n44/n44a3.pdf>
- Bowen, C. (2018). Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la microcuenca del río Tabacay para el periodo 2005-2017. Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31142/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Burra, D. D., Parker, L., Than, N. T., Phengsavanh, P., Long, C. T. M., Ritzema, R. S., Sagemueller, F., & Douxchamps, S. (2021). Drivers of land use complexity along an agricultural transition gradient in Southeast Asia. *Ecological Indicators*, 124, 107402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107402>

- Carranza, J. (2017). *Tasa de transformación del hábitat en el APFF Cañón del Usumacinta, Tabasco*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. file:///C:/Users/UNAS/Downloads/2021\_02\_04\_005\_FINAL2%20(1).pdf
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin User Manual*. [https://www.researchgate.net/publication/265031337\\_Semi-automatic\\_Classification\\_Plugin\\_User\\_Manual](https://www.researchgate.net/publication/265031337_Semi-automatic_Classification_Plugin_User_Manual) DOI: 10.13140/RG.2.1.1219.3524. 280 P.
- Convención de las Naciones Unidas Contra la Corrupción [CNUCC]. (2004). *Oficina contra la Droga y el Delito*. Naciones Unidas – Viena. Nueva York. 67 p.
- Chowdhury, M., Hasan, M. E., & Abdullah-Al-Mamun, M. M. (2020). Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.11.003>
- Chuvieco, E. y Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(3), 333-345. <https://doi.org/10.1080/02693799608902082>
- Chuvieco, E. (2002). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. 3ra edición. Rialp, S.A. Madrid, España.
- Chuvieco, E. (2019). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Digital Reasons.
- Clavo, N. (2015). *Minería ilegal y proceso de formalización: breve reseña del impacto en los bosques y la cuenca Amazónica*. [https://www.usmp.edu.pe/derecho/cedemin/revistaminasyderecho/edicion\\_3/seccion\\_opinion/Nadia\\_Clavo.pdf](https://www.usmp.edu.pe/derecho/cedemin/revistaminasyderecho/edicion_3/seccion_opinion/Nadia_Clavo.pdf)
- Cordero, D. (2012). *Una mirada integral a los bosques del Perú*. Quito: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN).
- De la Cruz, J. M. y Muñoz, G. A. (2016). *Análisis Multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca*. [Tesis de grado]. Universidad de Manizales. Colombia. 58 p.
- Dzieszko, P. (2014). Land-cover modelling using corine land cover data and multi-layer perceptron. *Quaestiones Geographicae*, v33, n. 1, p. 5-22. [Http://dx.doi.org/10.2478/quageo-2014-0004](http://dx.doi.org/10.2478/quageo-2014-0004).
- Dioses, M. (2013). *Deforestación en la Amazonia peruana*. En Perú. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/DE0EDED6E52D8C8B0525811A006FD689/\\$FILE/305\\_INFINVES29\\_deforestación.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/DE0EDED6E52D8C8B0525811A006FD689/$FILE/305_INFINVES29_deforestación.pdf)
- Dourojeanni, M. (2016). Manejo de bosques naturales en el trópico Americano: situación y perspectiva. *Revista Forestal del Perú*, 14(1), 1-14. <https://doi.org/10.21704/rfp.v14i1.143>
- García, Víctor, Carmen Márquez, Tom Isenhardt, Marco Rodríguez, Santiago Crespo, y Alexis Cifuentes. (2019). "Evaluating the Conservation State of the Páramo Ecosystem: An Object-Based Image Analysis and CART Algorithm Approach for Central Ecuador". *Heliyon* 5 (10): e02701. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e02701.T

- Gobierno Regional San Martín. (2023). *Mejoremos Calidad de Vida*. Boletín Informativo. 8 p.
- Gobierno Regional San Martín. (2020). Firma de convenio Marco de cooperación Interinstitucional entre el Gobierno Regional de San Martín y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. [CENEPRED]. Boletín Informativo. 58 p.
- Global Forest Watch. (2020). Global Forest Watch. Recuperado el 15 de 12 de 2020, de <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/>
- Hersperger, A. M., Oliveira, E., Pagliarin, S., Palka, G., Verburg, P., Bolliger, J., & Grădinaru, S. (2018). Urban land-use change: The role of strategic spatial planning. *Global Environmental Change*, 51, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.001>
- Ibáñez, N; Damman, G. (2014). Cambios de la cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios territoriales en la región Apurímac. Apurímac, Perú. Consultado 14 dic. 2022.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [IGAC]. (2013). Descripción y corrección de imágenes Landsat 8. LDCM. Versión 1.0. Bogotá D. C.: Centro de Investigación y Desarrollo – CIAF, Colombia. 45 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [INEGI]. (2014). Elementos de la percepción remota. México. 80 p. Consultado 17 Mar. 2024. Disponible en [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/el\\_ementos.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/el_ementos.aspx).
- Islam, K., Rahman, Md. F., & Jashimuddin, M. (2018). Modeling land use change using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88, 439-453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.047>
- Jiménez, E. (2019). Dinámica y modelamiento futuro de cambios y fragmentación en la cobertura y uso del suelo en La Hoya de Loja en el periodo 2001-2016 [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Loja. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21833/1/Tesis\\_Jim%C3%A9nez\\_B\\_Evelyn.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21833/1/Tesis_Jim%C3%A9nez_B_Evelyn.pdf)
- Jumbo, D, (2018). Estimación cualitativa y cuantitativa de la erosión hídrica vinculada al cambio de uso del suelo en la subcuenca catamayo, ecuador. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Agraria la Molina. UNALM. Lima – Perú. 105 p.
- La Barreda, S. D. (2021). Deforestación en la región Amazónica del Perú: situación y perspectivas. En *Revista Electrónica de Medioambiente*. Pontificia Universidad Católica del Perú. (Vol. 28, Número 2). [file:///C:/Users/UNAS/Downloads/articulo\\_2\\_ma\\_2021\\_resumen-1.pdf](file:///C:/Users/UNAS/Downloads/articulo_2_ma_2021_resumen-1.pdf)
- LAL, R., (2007). Anthropogenic influences on World soils and implications to global food security, *Adv. Agron.*
- Lanly, J. P. (2003). Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques. Quebec city Canadá: El XII World Forestry Congress. <https://www.fao.org/3/xii/ms12a-s.htm>
- Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. (2014). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7ma edición. John Wiley & Sons. Books, ([https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=AFHDCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=remote+sensing&ots=0Cppf2iAaw&sig=Y93L8cW9dAjkrczOP\\_0TLXqpWYI#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=AFHDCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=remote+sensing&ots=0Cppf2iAaw&sig=Y93L8cW9dAjkrczOP_0TLXqpWYI#v=onepage&q&f=false), Libro).

- Luque-Ramos, L. (2021). Análisis de la deforestación de la Amazonía peruana: Madre de Dios. Revista Innova Educación. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología. INUDI. Perú. [www.revistainnovaeducacion.com](http://www.revistainnovaeducacion.com). 15 p. [file:///C:/Users/UNAS/Downloads/13.+An%C3%A1lisis+de+la+deforestaci%C3%B3n+de+la+Amazonia+peruana+Madre+de+Dios%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/UNAS/Downloads/13.+An%C3%A1lisis+de+la+deforestaci%C3%B3n+de+la+Amazonia+peruana+Madre+de+Dios%20(2).pdf)
- Majluf, B. Y. (2017). Bosques en el Perú: Importancia, gestión y perspectivas en el contexto del cambio climático. Investigaciones sociales.
- Ministerio del Ambiente. (2013). Aprende a prevenir los efectos del mercurio - Módulo 04: Minería responsable. Ministerio del Ambiente, 32. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/94?show=full>
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam]. (2013). Guía Metodológica para la Elaboración de Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial - Lima: Ministerio del Ambiente. 20 p.
- Ministerio del Ambiente. [Minam]. (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Memoria descriptiva. Lima.
- Ministerio del Ambiente. [Minam]. (2016). La Conservación de Bosques en el Perú. Lima.
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam]. (2016). Procedimiento técnico y metodológico para la elaboración del "estudio especializado de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra.
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam] . (2020). Monitoreo de la pérdida de bosques húmedos amazónicos en el año 2019. Ministerio del Ambiente (MINAM). Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC). MINAM.
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam]. (2017). Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos. Ministerio de Agricultura y Riego. [http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas\\_geobosque/perdida/documentos/Cobertura\\_y\\_Deforestacion\\_en\\_los\\_Bosques\\_Humedos\\_Amazonicos\\_al\\_2017.pdf](http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Cobertura_y_Deforestacion_en_los_Bosques_Humedos_Amazonicos_al_2017.pdf)
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam]. (2021). Monitoreo de la pérdida de bosques húmedos amazónicos en el año 2019. MINAM. <http://www.bosques.gob.pe/archivo/Apuntes-del-bosque-3.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (s.f.). Bosque y Pérdida de Bosque. Recuperado el 27 de setiembre del 2021 de <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>
- Mishra, P. K., Rai, A., & Rai, S. C. (2020). Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 23(2), 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.02.001>
- Monitoring of the Andean Amazon Project. [MAAP]. (2017). Nuevos hotspots de deforestación al 2017 en la Amazonía peruana. <https://maaproject.org/2017/hotspots-2017-2/>
- Mucha, D. C. (2020). Análisis de la variación de la cobertura y uso actual de tierras de la subcuenca del Cunas durante el periodo 1987 – 2017. [Tesis de grado. Universidad Continental]. Huancayo, Perú. 188 p. [file:///C:/Users/UNAS/Downloads/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Mucha\\_Mucha\\_2020%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/UNAS/Downloads/IV_FIN_107_TE_Mucha_Mucha_2020%20(2).pdf)
- Naikoo, M. W., Rihan, M., Ishtiaque, M., & Shahfahad. (2020a). Analyses of land use land cover (LULC) change and built-up expansion in the suburb of a metropolitan city:

- Spatio-temporal analysis of Delhi NCR using landsat datasets. *Journal of Urban Management*, 9(3), 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.05.004>
- NASA. (2013). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. NASA, EE.UU. 86 p.
- Ñique A., M.; Gutiérrez G., R.; Vivar L., L.; Durand T., E. & Verastegui P., M. (2006). Experiencias de educación ambiental no formal en áreas adyacentes al Parque Nacional Tingo María. UNAS – BIOFOR /IRG – Municipalidad Mariano Dámaso Beraún. Perú.
- Ojima, D.S.; K.A. Galvin and B.L. Turner II. (1994). The global impact of land-use change. *BioScience*. Vol. 44, No. 5. 300 – 305 p. [https://www.researchgate.net/publication/247843817\\_The\\_Global\\_Impact\\_of\\_Land-Use\\_Change\\_BioScience\\_445300-304](https://www.researchgate.net/publication/247843817_The_Global_Impact_of_Land-Use_Change_BioScience_445300-304)
- Olaya, V. (2011). *Sistema de Información Geográfica. Versión 1.0*. 883 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [FAO]. (2012). FRA 2015 TÉRMINOS Y EVALUACIONES. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2015). Atlas de cobertura del suelo de Uruguay. Cobertura de suelo y cambios 2000 – 2011. Land Cover Classification System. Montevideo, UY. 52 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [FAO]. (2016). Los bosques y el cambio climático en el Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [FAO]. (2018). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2020. Términos y Definiciones FRA 2020. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. [FAO]. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 principales resultados. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>
- Organismo de Supervisión de los Recursos Naturales y Fauna Silvestre. [OSINFOR]. (2016). Anuario estadístico 2016 – OSINFOR. Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre. <https://www.osinfor.gob.pe/publicaciones/anuario-estadistico-2016/>
- Pabón, E. D. (2022). Análisis de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Tabacay. [Tesis de Maestría]. Universidad Andina Simón Bolívar. Quito - Ecuador. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8687/1/T3801-MCCSD-Pabon-Analisis.pdf>.
- Padilla, M., Stehman, S. V., Ramo, R., Corti, D., Hantson, S., Oliva, P., Alonso-Canas, I., Bradley, A. V., Tansey, K., Mota, B., Pereira, J. M. y Chuvieco, E. (2015). Comparing the accuracies of remote sensing global burned area products using stratified random sampling and estimation. *Remote Sensing of Environment*, 160, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.005>
- Pascual, A. J. A et al. (2003) “Importancia de los estudios de erosión en la planificación del suelo. Veinte años de estudios en la Comunidad Valenciana “Edafología, Vol. 10 (3), pp. 227-234.

- Pérez, G. S.J. (2001): "Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información geográfica". Universidad Industrial de Santander. Bogotá. 105 p.
- Pontius, G., Shusas, E., Mceachern, M. (2004). "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 100 p.
- Ramírez-Mejía, D., Cuevas, G., & Mendoza, E. (2017). Land Use and Cover Change Scenarios in the Mesoamerican Biological Corridor-Chiapas, México. *Botanical Sciences*, 95(2), 221-234. doi:10.17129/botsci.838
- Rasool, R., Fayaz, A., Shafiq, M. ul, Singh, H., & Ahmed, P. (2021). Land use land cover change in Kashmir Himalaya: Linking remote sensing with an indicator based DPSIR approach. *Ecological Indicators*, 125, 107447. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107447>
- Rettore de Araujo Zanella, A., da Silva, E., & Pessoa Albini, L. C. (2020). Security challenges to smart agriculture: Current state, key issues, and future directions. *Array*, 8, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.array.2020.100048>
- Ríos, A. M. (2023). Predicción de la cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la cuenca del río Huayabamba, región San Martín. [Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú. 111 p. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2545/TS\\_AMRO\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2545/TS_AMRO_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rodríguez, M (2007). Potencialidad de las técnicas SIG para la gestión medioambiental: aplicación al estudio de la erosión Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera. 120 p.
- Ruiz, I., & Sanz-Sánchez, M. J. (2020). Effects of historical land-use change in the Mediterranean environment. *Science of The Total Environment*, 732, 139315. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139315>
- Sánchez, A. (2009). Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en la cuenca del valle de Jesús de Otoro entre los años 2000 – 2006 aplicando técnicas de teledetección. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Sastre, P. (2008). Sistemas de Información Geográfica (SIG): Técnicas básicas para estudios de biodiversidad. España. 58 p.
- Serafin, I. C. (2016). Conflictos de uso de los suelos en la cuenca bella, Distrito mariano dámaso beraún – las palmas. [Tesis de grado]. Escuela Profesional de Ingeniería en conservación de suelos y agua. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad nacional Agraria de la Selva. UNAS, Tingo Maria – Perú. 120 p.
- Singh, A. (1989). Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 989-1003. <https://doi.org/10.1080/01431168908903939>
- Soluciones Integrales en Geomática. (2016). Imágenes satelitales, LANSAT. Disponible en <<http://www.geosoluciones.cl/landsat/>>
- Tan, J., Yu, D., Li, Q., Tan, X., & Zhou, W. (2020). Spatial relationship between landuse/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China. *Scientific Reports*, 10(1), 9245. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66168-6>

- Valdez, E. (2014). Análisis de pérdida de suelos por erosión hídrica en la Subcuenca Conduriri mediante la metodología Rusle. [Tesis de grado]. Universidad Nacional del Altiplano. PUNO.
- Villota, H.U.G. (1991). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de la tierra. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.
- Wu, H., Lin, A., Xing, X., Song, D., & Li, Y. (2021). Identifying core driving factors of urban land use change from global land cover products and POI data using the random forest method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 102475. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102475>
- Zhang, R., Zhao, X., Zhang, C., & Li, J. (2020). Impact of Rapid and Intensive Land Use/Land Cover Change on Soil Properties in Arid Regions: A Case Study of Lanzhou New Area, China. *Sustainability*, 12(21), 9226. <https://doi.org/10.3390/su12219226>

**ANEXOS**

## Anexo 1. Tabulación de datos

**Tabla 10.** Coordenadas y tipo de cobertura tomadas en campo en la cuenca Challhuayacu.

N°	Este(X)	Norte(Y)	Altitud	Descripción	Fecha
1	321208	9103723	506	Área urbana	15/01/2024
2	320949	9103786	510	Área urbana	15/01/2024
3	320663	9103945	514	Área urbana	15/01/2024
4	320408	9104636	521	Área urbana	15/01/2024
5	320287	9104874	530	Área urbana	15/01/2024
6	320281	9105174	530	Área urbana	15/01/2024
7	320185	9105353	530	Área urbana	15/01/2024
8	320447	9104513	521	Ríos	15/01/2024
9	320259	9104636	527	Pasto	15/01/2024
10	320129	9104493	533	Pasto	15/01/2024
11	319969	9104449	530	Pasto	15/01/2024
12	319710	9104249	536	Bosque	15/01/2024
13	319488	9104250	541	Pasto	15/01/2024
14	319286	9104289	547	Bosque	15/01/2024
15	318891	9104311	550	Bosque	15/01/2024
16	318741	9104416	550	Cultivos agrícolas	15/01/2024
17	318451	9104412	550	Pasto	15/01/2024
18	318254	9104434	550	Pasto	16/01/2024
19	318183	9104386	550	Ríos	16/01/2024
20	318537	9104351	550	Ríos	16/01/2024
21	318660	9104340	550	Pasto	16/01/2024
22	319085	9104338	550	Bosque	16/01/2024
23	319543	9104202	538	Ríos	16/01/2024
24	319871	9104296	536	Ríos	16/01/2024
25	320445	9104281	518	Bosque	16/01/2024
26	320235	9104193	521	Bosque	16/01/2024
27	320041	9104126	526	Bosque	16/01/2024
28	319896	9104006	532	Bosque	16/01/2024
29	319743	9103889	532	Bosque	16/01/2024

30	319648	9103925	536	Bosque	16/01/2024
31	319560	9103853	536	Bosque	16/01/2024
32	319560	9103557	537	Bosque	16/01/2024
33	319519	9103270	536	Cultivos agrícolas	16/01/2024
34	319399	9103260	540	Cultivos agrícolas	16/01/2024
35	319158	9103311	544	Cultivos agrícolas	16/01/2024
36	318972	9103270	548	Bosque	17/01/2024
37	318703	9103444	550	Bosque	17/01/2024
38	317999	9103553	550	Área urbana	17/01/2024
39	317772	9103626	558	Área urbana	17/01/2024
40	317654	9103656	565	Área urbana	17/01/2024
41	317593	9103617	565	Área urbana	17/01/2024
42	317668	9103595	565	Área urbana	17/01/2024
43	317372	9103639	573	Bosque	17/01/2024
44	317181	9103517	576	Bosque	17/01/2024
45	316774	9103552	590	Cultivos agrícolas	17/01/2024
46	317016	9103567	583	Cultivos agrícolas	17/01/2024
47	316614	9103624	594	Bosque	17/01/2024
48	316370	9103664	600	Bosque	17/01/2024
49	316042	9103679	600	Bosque	17/01/2024
50	315598	9103465	600	Bosque	17/01/2024
51	316092	9103628	600	Bosque	17/01/2024
52	316265	9103636	600	Bosque	18/01/2024
53	316441	9103600	600	Bosque	18/01/2024
54	317646	9103461	563	Bosque	18/01/2024
55	317586	9102989	560	Cultivos agrícolas	18/01/2024
56	318561	9103019	550	Cultivos agrícolas	18/01/2024
57	318623	9102978	550	Cultivos agrícolas	18/01/2024
58	321424	9104699	500	Pasto	18/01/2024
59	321354	9104736	500	Pasto	18/01/2024
60	321315	9104703	500	Pasto	18/01/2024
61	321422	9104257	500	Bosque	18/01/2024
62	322120	9103881	500	Bosque	18/01/2024

63	322196	9104006	500	Bosque	18/01/2024
64	322346	9104018	500	Pasto	18/01/2024
65	322418	9103989	500	Pasto	18/01/2024
66	322875	9104379	500	Cultivos agrícolas	18/01/2024
67	322927	9104521	500	Cultivos agrícolas	18/01/2024
68	322904	9104666	500	Cultivos agrícolas	18/01/2024
69	322882	9104554	500	Pasto	18/01/2024
70	322792	9104967	500	Cultivos agrícolas	18/01/2024
71	322881	9105067	500	Cultivos agrícolas	18/01/2024
72	322854	9105233	500	Cultivos agrícolas	18/01/2024
73	317170	9103008	572	Cultivos agrícolas	18/01/2024
74	316958	9103110	578	Cultivos agrícolas	18/01/2024
75	316511	9103088	593	Bosque	18/01/2024
76	316448	9103240	594	Bosque	18/01/2024
77	316410	9103448	597	Bosque	18/01/2024
78	314731	9103713	650	Área urbana	18/01/2024
79	314644	9103565	650	Área urbana	18/01/2024
80	314618	9103609	650	Área urbana	18/01/2024
81	314590	9103504	650	Área urbana	18/01/2024
82	314464	9103447	665	Bosque	18/01/2024
83	314034	9102574	666	Pasto	18/01/2024
84	313810	9102369	682	Pasto	18/01/2024
85	313732	9102158	686	Pasto	18/01/2024
86	313569	9102125	700	Pasto	18/01/2024
87	313315	9101715	712	Sin Cobertura	18/01/2024
88	313274	9101381	705	Pasto	18/01/2024
89	313346	9101571	712	Pasto	18/01/2024
90	313195	9101276	723	Pasto	18/01/2024
91	313286	9101858	713	Sin Cobertura	18/01/2024

---

**Tabla 11.** Uso actual de la tierra 2022 de la cuenca Challhuayacu.

<b>LEYENDA - USO ACTUAL DE LA TIERRA AÑO 2022</b>			
ID	Descripción	Superficie	
		Área (Ha)	%
1	Áreas urbanizadas (AU)	40.79	0.18
2	Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	1,490.96	6.70
3	Pastos (Ps)	370.62	1.67
4	Bosque (Bo)	19,742.52	88.72
5	Áreas sin o con poca vegetación (AsPV)	231.26	1.04
6	Cuerpo de agua (CA)	376.99	1.69
<b>Superficie total</b>		<b>22,253.13</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 12.** Uso actual de la tierra 2017 de la cuenca Challhuayacu.

<b>LEYENDA - USO ACTUAL DE LA TIERRA AÑO 2017</b>			
ID	Descripción	Superficie	
		Área (Ha)	%
1	Áreas urbanizadas (AU)	27.41	0.12
2	Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	1,215.99	5.46
3	Pastos (Ps)	383.41	1.72
4	Bosque (Bo)	20,082.36	90.25
5	Áreas sin o con poca vegetación (AsPV)	165.26	0.74
6	Cuerpo de agua (CA)	378.70	1.70
<b>Superficie total</b>		<b>22,253.13</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 13.** Uso actual de la tierra 2012 de la cuenca Challhuayacu.

<b>LEYENDA - USO ACTUAL DE LA TIERRA AÑO 2012</b>			
<b>ID</b>	<b>Descripción</b>	<b>Superficie</b>	
		<b>Área (Ha)</b>	<b>%</b>
1	Áreas urbanizadas (AU)	19.05	0.09
2	Áreas agrícolas heterogéneas (AAH)	1,079.03	4.85
3	Pastos (Ps)	297.56	1.34
4	Bosque (Bo)	20,350.86	91.45
5	Áreas sin o con poca vegetación (AsPV)	145.76	0.66
6	Cuerpo de agua (CA)	360.87	1.62
<b>Superficie total</b>		<b>22,253.13</b>	<b>100.00</b>

## Anexo 2. Panel fotográfico



**Figura 11.** Georreferenciación del cultivo de cacao parte baja de la cuenca



**Figura 12.** Georreferenciación del cultivo de cacao parte media de la cuenca



**Figura 13.** Cruzando el río Challhuayacu



**Figura 14.** Toma de punto de cultivo de café parte alta de la cuenca



**Figura 15.** Toma de punto de cultivo de coca



**Figura 16.** Vista panorámica de un predio con sus animales domésticos



**Figura 17.** Visita a un agricultor dentro de la cuenca Challhuayacu



**Figura 18.** Toma de punto de un terreno degradado de la cuenca Challhuayacu



**Figura 19.** Toma de punto cultivo de coca con plátano cuenca Challhuayacu



**Figura 20.** Vista panorámica de la cuenca Challhuayacu

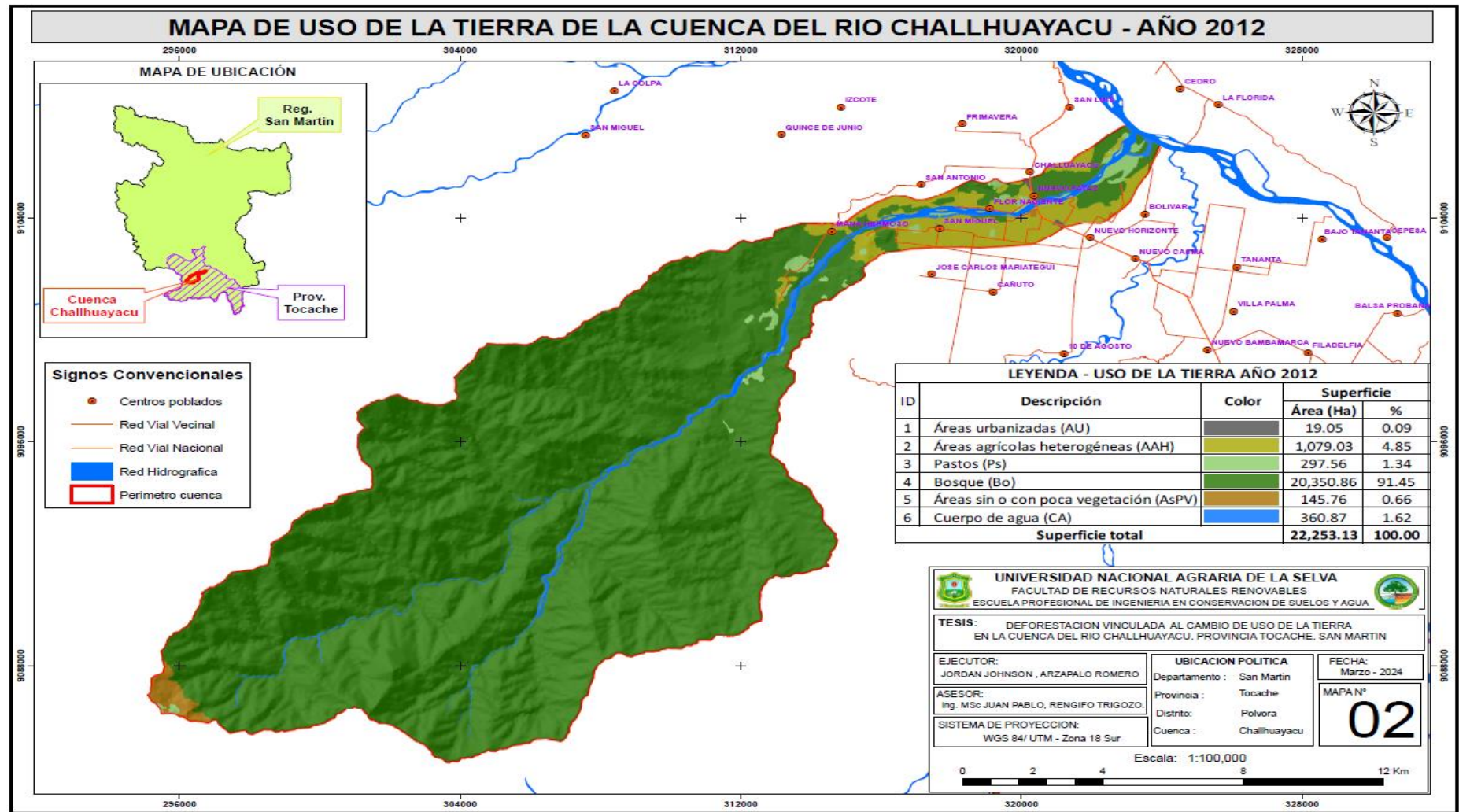


Figura 21. Mapa de uso de la tierra de la cuenca del río Challhuayacu año 2012

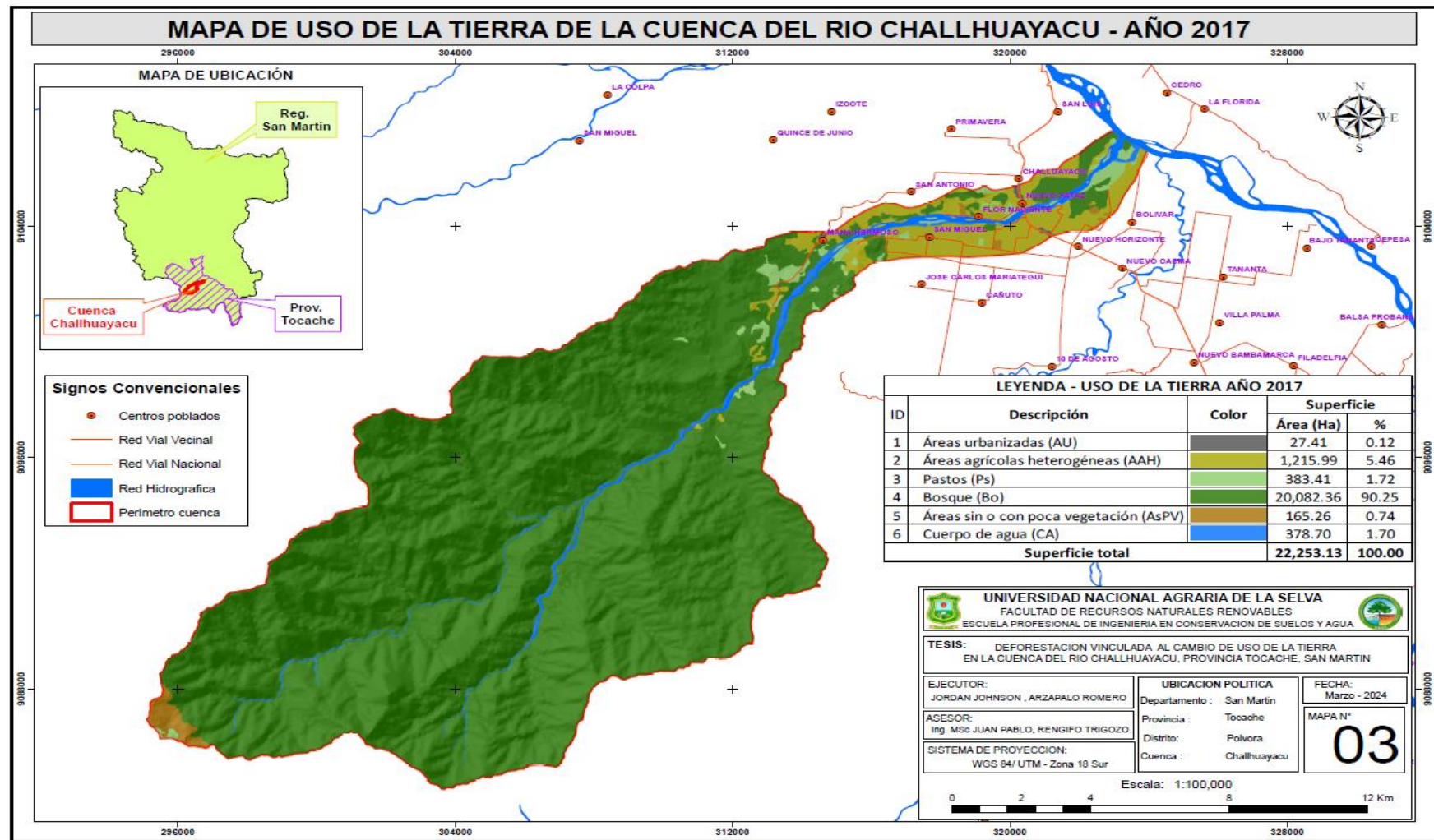


Figura 22. Mapa de uso de la tierra de la cuenca del río Chalhuyacu año 2017

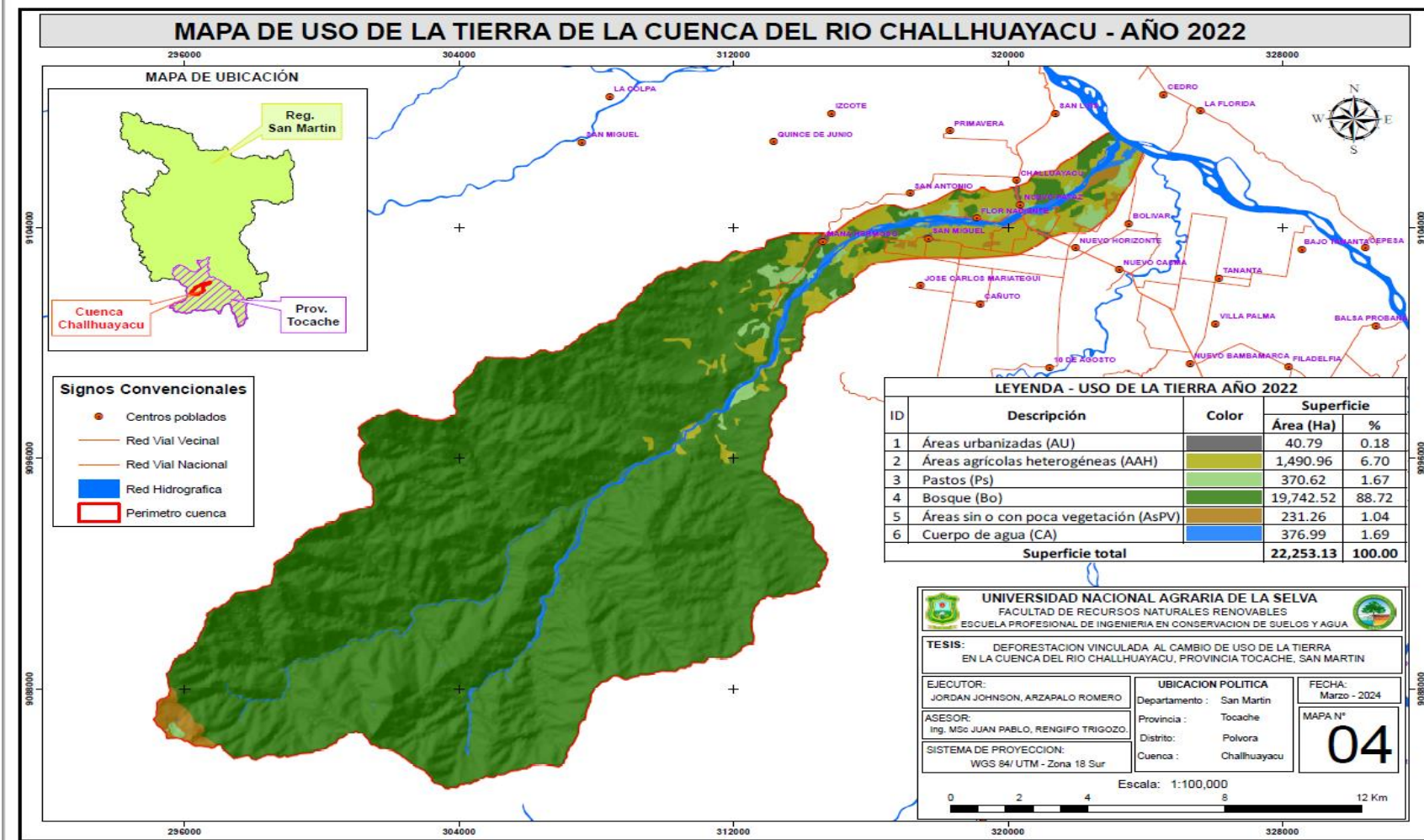
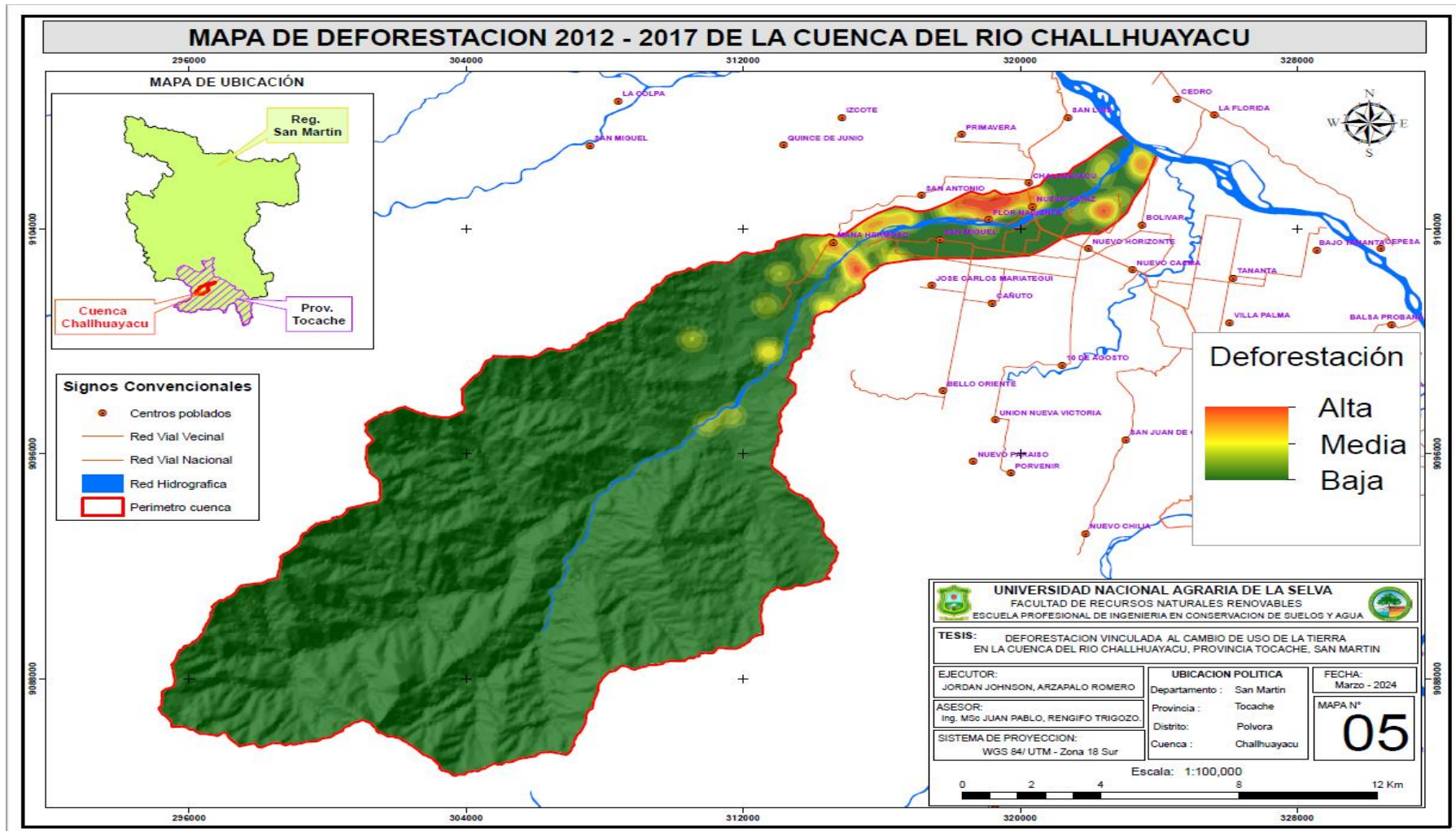
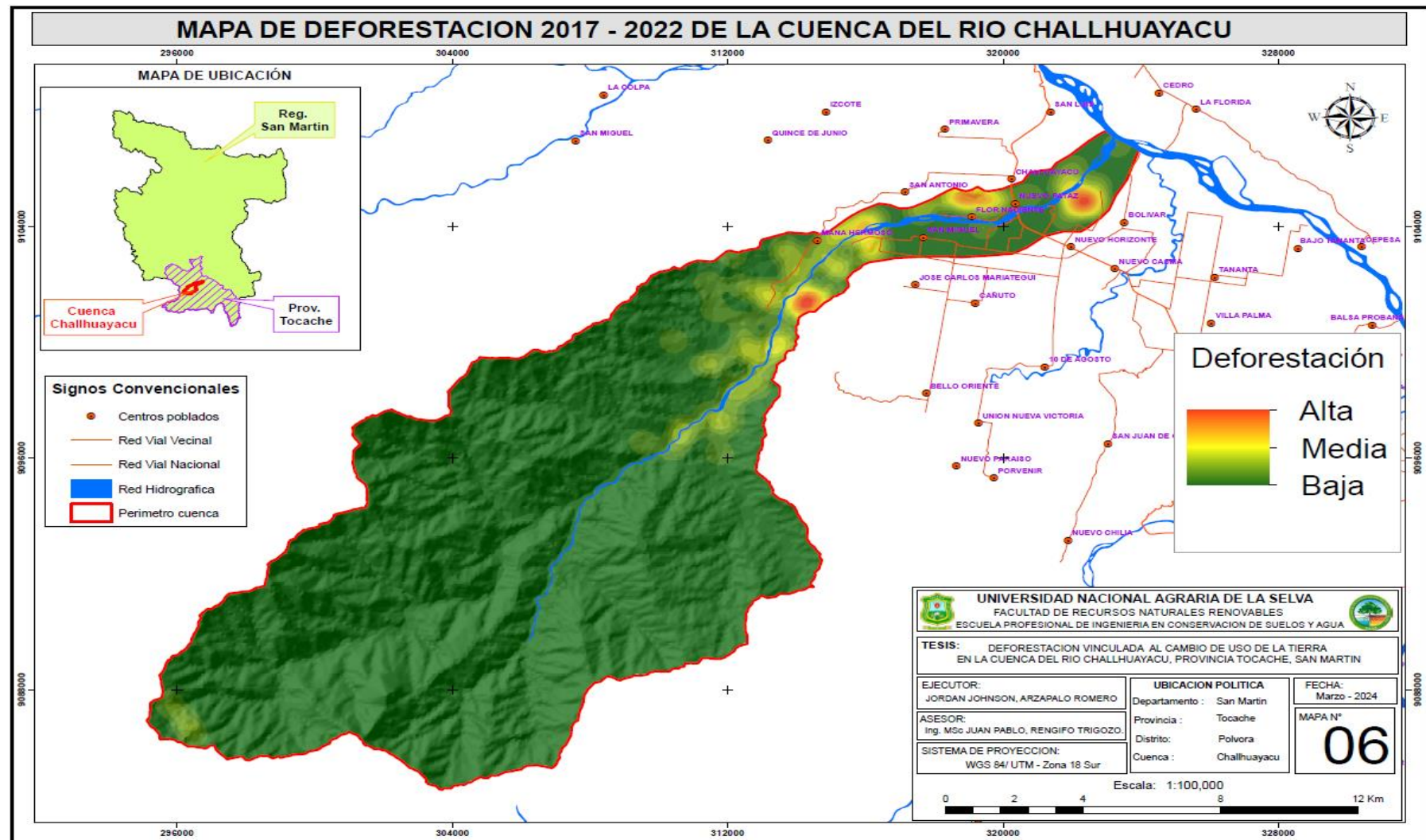


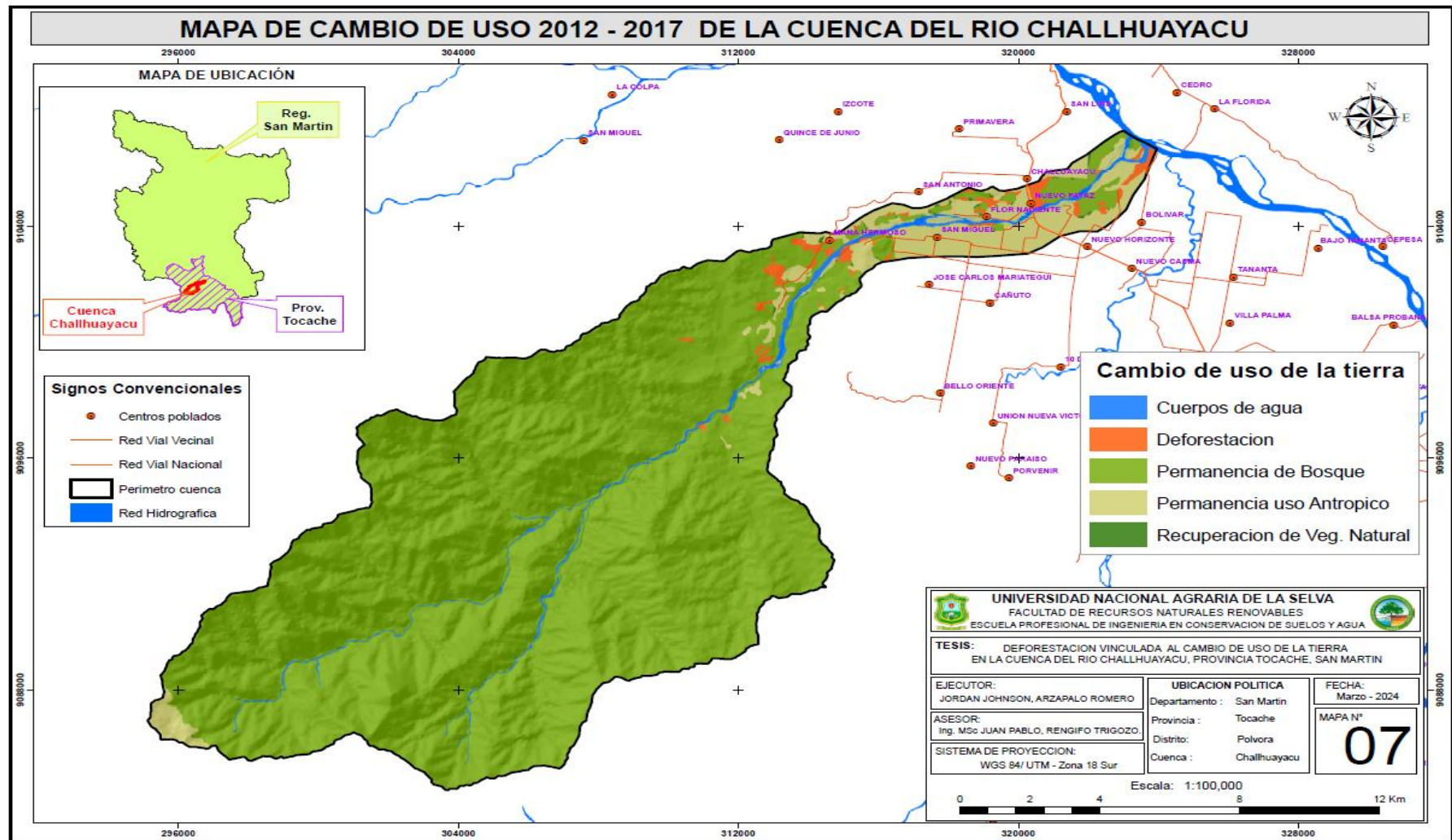
Figura 23. Mapa de uso de la tierra de la cuenca del río Challhuayacu año 2022



**Figura 24.** Mapa de deforestación de la cuenca del río Challhuayacu año 2012 a 2017



**Figura 25.** Mapa de deforestación de la cuenca del río Challhuayacu año 2017 a 2022



**Figura 26.** Mapa de cambio de uso de la cuenca del río Challhuayacu año 2012 a 2017

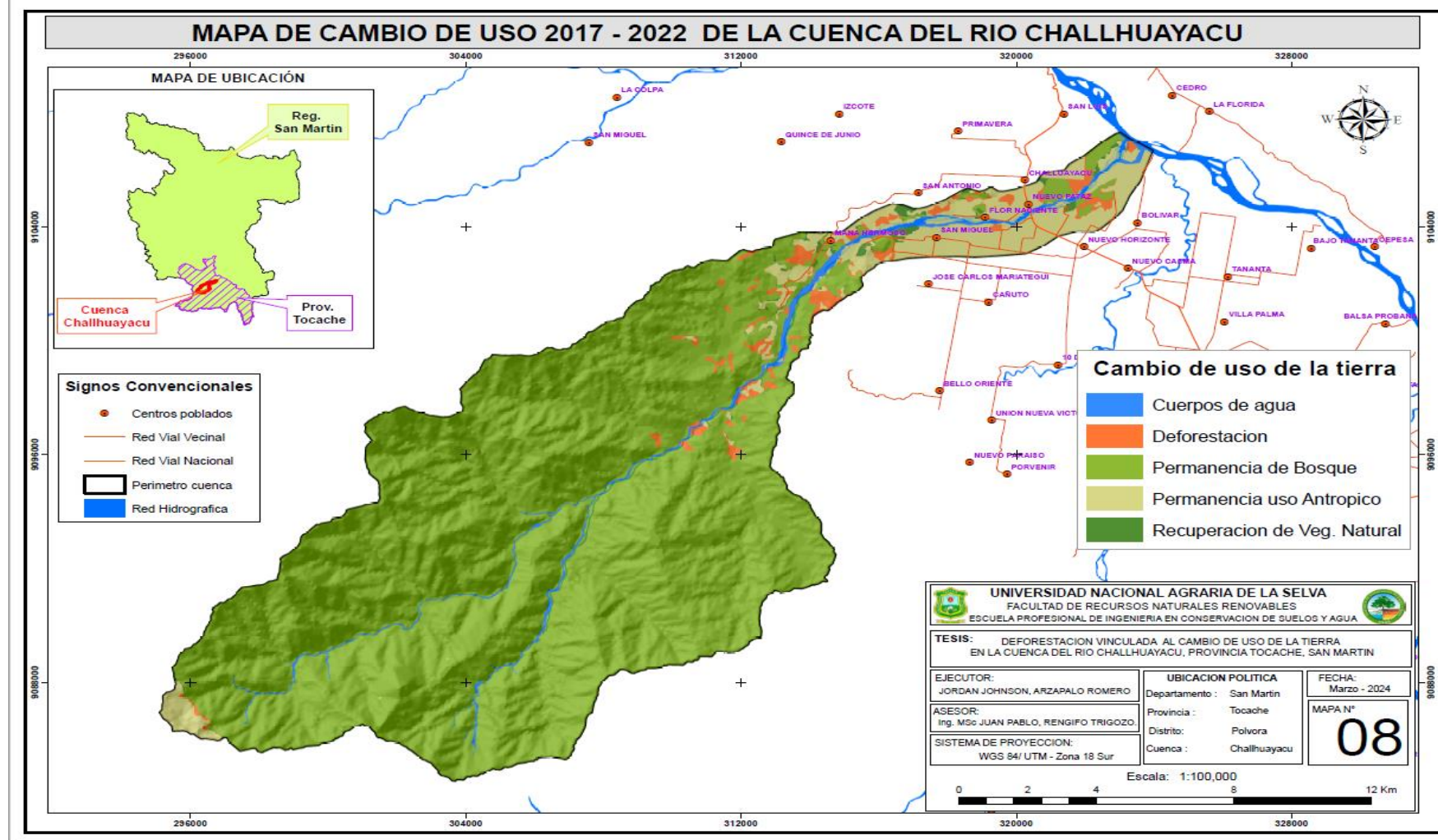


Figura 27. Mapa de cambio de uso de la cuenca del río Challhuayacu año 2017 a 2022.