

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA FORESTAL**

**ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL
SUELO DEL DISTRITO DE COROSHA, AMAZONAS
DURANTE EL PERIODO 2002-2022**

Autora: Bach. Sivmny Valeria Valqui Reina

Asesor: M.Sc. Alex Joel Vergara Anticona

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Valqui Reina Siumny Valeria
DNI N°: 73658618
Correo electrónico: 73658618@untrm.edu.pe
Facultad: Ingeniería y Ciencias Agrarias
Escuela Profesional: Ingeniería Forestal

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Análisis del Cambio de Cobertura y Uso del Suelo del distrito de Carosha, Amazonas durante el periodo 2002 - 2022

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Vergara Anticona Alex Joel
DNI, Pasaporte, C.E N°: 70060377
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) 0000-0002-9928-707x

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) _____

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
4.00.00 Ciencias agrícolas 4.01.02 Forestal

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC. Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 17 / enero / 2024



[Firma]
Firma del autor 1

Firma del autor 2

[Firma]
Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en el camino y otorgarme la vida, salud y conocimiento para enfrentar obstáculos alcanzar mis metas.

A mis padres Elizabeth y Asunción, por su constante amor incondicional, apoyo, sabios consejos, valores inquebrantables y su ejemplo de perseverancia, que siempre son una fuente de inspiración que me han demostrado para superar obstáculos.

A mis hermanas Danny, Jeymi y Xiomara por su apoyo incondicional y por ser un pilar fundamental en mi camino.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a mi asesor, M.Sc. Alex Joel Vergara Anticona, quien contribuyo significativamente en la ejecución de esta tesis, también agradezco por brindarme su amistad, paciencia y valioso tiempo. Estoy sinceramente agradecida por cada una de sus recomendaciones y sugerencias que han sido de vital importancia para el desarrollo exitoso de esta investigación. Su orientación experta y compromiso han dejado una marca significativa en este trabajo, y su apoyo ha sido fundamental en mi trayecto académico.

Asimismo, quiero expresar mi sincero agradecimiento al Laboratorio de Análisis Geoespacial y Manejo Forestal, el proyecto CUI N° 2513702 “Mejoramiento del servicio de formación de Pre grado en educación superior universitaria de la escuela profesional de Ingeniería Forestal de la UNTRM distrito de Chachapoyas - provincia de Chachapoyas – departamento de Amazonas” y al Instituto de investigación, innovación y desarrollo para el sector Agrario y Agroindustrial (IIDAA) por el apoyo logístico, recursos disponibles y todo lo necesario para el desarrollo y enriquecimiento de esta investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

Vicerrectora de Investigación

Dr. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Análisis del cambio de Cobertura y uso del suelo del distrito de Coosha, Amazonas durante el periodo 2002 - 2022; del egresado Siumny Valeria Valqui Reina de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de esta Casa Superior de Estudios.

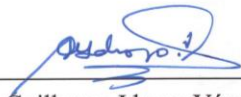
El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 28 de noviembre de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

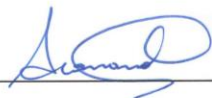
ALEX JOEL VERGARA ANTICOPA

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Ms. Guillermo Idrogo Vásquez

Presidente



Ms. Ingrid Aracelli Cassana Huaman

Secretario



Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Análisis del Cambio de cobertura y uso del suelo del distrito de
Cossha, Amazonas durante el periodo 2002-2022

presentada por el estudiante ()/egresado (X) Sivmy Valeria Valqui Reina
de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal

con correo electrónico institucional 7365861881@untrm.edu.pe
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 20 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 11 de diciembre del 2023


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



ANEXO 3-S

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de diciembre del año 2023 siendo las 10 horas, el aspirante: Sivmy Valeria Valqui Reina, asesorado por M.Sc. Alex Joel Veigara Anticona defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Análisis del cambio de cobertura y uso del suelo del distrito de Coirota, Amazonas durante el periodo 2002-2022., para obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:



Presidente: Guillermo Integro Vázquez
Secretario: Ingrid Anacelli Canana Huamán
Vocal: Segundo Manuel Oliva Cruz

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 11:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:
.....

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
2.1. Área de estudio	19
2.2. Diseño metodológico	21
2.3. Materiales, equipos y software	21
2.4. Procedimiento metodológico	21
2.4.1. Selección y recolección de material satelital	22
2.4.2. Preprocesamiento de las imágenes satelitales	22
2.4.3. Clasificación supervisada.....	23
2.4.4. Proyección de los cambios de cobertura y uso del suelo	24
2.5. Análisis de datos	24
2.5.1. Matriz de confusión	24
2.5.2. Índice Kappa.....	24
III. RESULTADOS	26
3.1. Identificación de las clases de cobertura según Corine Land Cover	26
3.2. Análisis del cambio de cobertura para los años 2002, 2012 y 2022.....	26
3.2.1. Cobertura y uso del suelo del año 2002	26
3.2.2. Cobertura y uso del suelo del año 2012	30

3.2.3. Cobertura y uso del suelo del año 2022	34
3.3. Cambio de uso y ocupación del suelo del distrito de Corosha	38
3.4. Índice de deforestación del distrito de Corosha.....	41
3.5. Proyección futura de la cobertura y uso del suelo	43
IV. DISCUSIONES	45
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. RECOMENDACIONES.....	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales, equipos y software	21
Tabla 2. Características de las imágenes satelitales seleccionadas.....	22
Tabla 3. Valoración del coeficiente de Kappa	25
Tabla 4. Categorías de cobertura de clasificación en el área de estudio.....	26
Tabla 5 Superficie de la cobertura y uso del suelo para el año 2002.....	26
Tabla 6 Matriz de confusión año 2002	28
Tabla 7 Superficie de la cobertura y uso del suelo para el año 2012.....	30
Tabla 8 Matriz de confusión año 2012	32
Tabla 9. Superficie de la cobertura y uso del suelo para el año 2022.....	34
Tabla 10 Matriz de confusión año 2022	36
Tabla 11 Cambio y no cambio de la superficie del distrito de Corosha	38
Tabla 12 Índice de deforestación del distrito de Corosha.....	41
Tabla 13 Superficie de las clases de cobertura y uso de suelo en el año 2060	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del distrito de Corosha	20
Figura 2 Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2002	27
Figura 3 Mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2002	29
Figura 4 Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2012	31
Figura 5 Mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2012	33
Figura 6 Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2022	35
Figura 7 Mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2022	37
Figura 8 Cambio y no cambio en el uso del suelo durante el periodo 2002 - 2022	38
Figura 9 Cambio en las clases de cobertura y uso de suelo durante el periodo 2002 - 2022	39
Figura 10 Mapa de cambio y no cambio de la cobertura y uso de suelo durante el periodo 2002 – 2022	40
Figura 11 Índice de deforestación del distrito de Corosha	41
Figura 12 Mapa del Índice de deforestación del distrito de Corosha durante el periodo 2002 - 2022	42
Figura 13 Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2060	43
Figura 14 Mapa de cobertura y uso de suelo del año 2060	44

RESUMEN

La cobertura y uso del suelo son aspectos importantes para entender los cambios en el paisaje, identificar los factores impulsores, evaluar el impacto ambiental y proporcionar información para la zonificación ecológica económica y el ordenamiento territorial. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los cambios de cobertura y uso de suelo del distrito de Corosha empleando imágenes satelitales de Landsat 7 ETM (2002) y Landsat 8 OLI/TIRS (2012 y 2022), así como también el lenguaje de programación y el algoritmo de Random Forest. En 2002, el bosque abarcaba el 62.99% (4048.54 ha), aumentando a 64.71% (4158.72 ha) en 2022. El pajonal disminuyó de 10.69% (687.18 ha) a 9.95% (639.54 ha), mientras que el pasto creció de 13.79% (886.59 ha) a 20.53% (1319.22 ha). La proyección al 2060, empleando cadenas de Markov y considerando escenarios de cambios climáticos en función a la temperatura y precipitación, indica una reducción del bosque al 59.08% (3797.01 ha), un aumento del pasto al 25.13% (1615.23 ha), y tierra desnuda al 5.58% (358.83 ha). Estos cambios reflejan impactos ambientales y señalan la necesidad de estrategias de ordenamiento territorial. La influencia de variables climáticas y topográficas resalta la importancia de considerar estos factores en futuras planificaciones.

Palabras clave: Cobertura y uso del suelo, Algoritmo de Random Forest, Cadenas de Markov, Cambios climáticos, lenguaje de programación.

ABSTRACT

Land cover and land use are important aspects for understanding landscape change, identifying drivers, assessing environmental impact, and providing information for ecological economic zoning and land use planning. This study aimed to assess land cover and land use changes in the Corosha district using Landsat 7 ETM (2002) and Landsat 8 OLI/TIRS (2012 and 2022) satellite images, as well as the Random Forest programming language and algorithm. In 2002, forest comprised 62.99% (4048.54 ha), increasing to 64.71% (4158.72 ha) in 2022. Grassland decreased from 10.69% (687.18 ha) to 9.95% (639.54 ha), while pasture grew from 13.79% (886.59 ha) to 20.53% (1319.22 ha). The projection to 2060, using Markov chains and considering climate change scenarios based on temperature and precipitation, indicates a reduction of forest to 59.08% (3797.01 ha), an increase of pasture to 25.13% (1615.23 ha), and bare land to 5.58% (358.83 ha). These changes reflect environmental impacts and point to the need for land management strategies. The influence of climatic and topographic variables highlights the importance of considering these factors in future planning.

Key words: Land cover and land use, Random Forest Algorithm, Markov Chains, Climate change, programming language.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas son espacios naturales que brindan servicios y material genético para garantizar la estabilidad de la vida en la tierra, generando amplios beneficios directos e indirectos como alimentos, recursos energéticos, regulación de los ciclos de vida, protección y soporte de la biodiversidad, etc, ofreciendo garantías de sostenibilidad y equilibrio en los biomas globales (Ge et al., 2022). El Perú como parte de su estructura geográfica presenta diversos tipos de usos de suelo que albergan variedad de ecosistemas donde resaltan los bosques tropicales, bosques secos y ecosistemas frágiles que albergan diversidad ecológica por presencia diversos climas y zonas de producción que generan impacto ambiental, económico y social caracterizando a cada división geográfica del país (MINAM, 2015). Dentro de los principales usos del suelo para el capital natural del Perú encontramos zonas productivas, zonas de protección y conservación ecológica, zonas de tratamiento especial, zonas de recuperación y zonas urbanas o industriales (Castillo et al., 2020; MINAM, 2016)

La cobertura de la tierra es el aspecto importante para conocer cómo el suelo se transforma según el uso perpetrado, independientemente del origen y composición original de la misma; siendo así que se denomina cobertura de la tierra a todo material biótico que cubre la superficie y es a partir de ahí de donde comienza el análisis para entender y denominar las principales características ambientales y biofísicas (Fu et al., 2012). El uso de la tierra es el término que presta información a la utilidad del tipo de cobertura utilizada para el desarrollo de actividades del hombre, así como también al cambio y transformación de cobertura presente sobre la superficie (FAO, 2009). Las investigaciones sobre la cobertura y el uso de la tierra permiten conocer las distribuciones de los ecosistemas, así como aportar durante el proceso del ordenamiento territorial del país, en tal sentido contribuye a la gestión, administración y supervisión de la extensión terrestre a través de la elaboración de material cartográfico y temático (MINAM, 2016).

Los cambios de cobertura y uso del suelo son procesos que transforman la superficie terrestre, estos cambios son generados por el impacto de las actividades del hombre para el desarrollo socioeconómico y subsistencia (Wang et al., 2022), en ese sentido el estudio de los mismos permite evaluar el impacto ocasionado en la estructura de la biodiversidad, así como también el funcionamiento y potencial de los suelos (Li et al., 2017; Nené et al., 2017). Cabe mencionar que estos cambios también se ven reflejados en la transformación

física a través del tiempo mediante la presencia de diferentes tipos de cobertura y ocupación del suelo, de tal manera que se generan pérdidas de vegetación leñosa, recursos naturales y ecosistemas (Devkota et al., 2023).

Para el estudio de identificación de coberturas y usos del suelo, los investigadores emplean tecnologías como la teledetección y los sistemas de información geográfica (Li et al., 2017), donde las imágenes satelitales brindan información de los modelos espaciales, así como de la información tomada a través de la interacción electromagnética entre la superficie terrestre y los sensores (Katusiime et al., 2023), ya que garantizan el grado de monitoreo espaciotemporal exacto en función a la estructura de la vegetación y escala espacial (Yang et al., 2012), esta clasificación se realiza empleando diversos sistemas de clasificación, entre ellos destaca la metodología de Corine Land Cover proporcionado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (Aquilué et al., 2017), la cual ha sido adaptada para el Perú por el Ministerio del ambiente (MINAM) y que garantiza la correcta y ordenada clasificación

Sabiendo la importancia de este tipo de estudios, a nivel internacional se tiene algunos referentes en México como (Camacho et al., 2017) que analizaron en el Estado de México los cambios de cobertura y uso del suelo en dos periodos de tiempo de 2000 – 2007 y 2007 – 2017 a fin de identificar los factores que lo provocan a través de pasos correlacionales, asimismo, identificar los principales usos del suelo, por su parte (Nené et al., 2017) en las cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano evaluaron los cambios de cobertura y uso de suelo desde los años 1971 al 2014 utilizando la fotointerpretación y la clasificación de los tipos de cobertura presentes y los principales usos; y por ultimo (Salinas et al., 2020) analizaron en San Fernando, Tamaulipas los cambios de uso de tierra mediante el método de clasificación por segmentación de imágenes satelitales y posterior selección de sitios mediante polígonos para la clasificación y con ello verificar la disminución o incremento de usos de suelo.

A nivel Nacional también encontramos estudios similares, que se encargaron de evaluar los cambios de cobertura y uso del suelo, siendo así tenemos a (Zorogastúa et al., 2011) en el departamento de Piura evaluó las transformaciones del suelo en bosques secos a través de imágenes satelitales en los años 1999 al 2001, el cual tuvo como base la clasificación del INRENA para evaluar y comparar mediante el algoritmo de máxima verosimilitud, asimismo, en el sur del Perú (Loza & Taype, 2021) en el departamento de

Puno realizaron la clasificación supervisada del distrito de Cabana para el periodo 2000 - 2016 empleando así el análisis de la vegetación in situ por cuadrantes aleatorios para calcular las áreas en hectáreas de cada agrupación vegetal y con ello determinar las ganancias o pérdidas del cambio de uso del suelo; y en el departamento de Ayacucho, (Rodríguez et al., 2021) también evaluaron dichos cambios entre los años 2000 – 2014, teniendo en cuenta factores ambientales como precipitación y temperatura, así como también el índice de vegetación de diferencia normalizada con el fin de verificar el impacto de los suelos y contribuir así en la elaboración de calendarios agrícolas y forestales.

En la región Amazonas también se desarrolló este tipo de investigaciones, siendo así que resaltan (Zumaeta, 2019), cuyo objetivo de estudio fue analizar la pérdida de la cobertura vegetal boscosa en la microcuenca Yuyac a través de imágenes satelitales para los años 1998, 2008 y 2018, y con ello realizó la predicción de pérdida al año 2030; en el distrito de Yambrasbamba, (Chuquibala, 2022) analizó el índice de deforestación a través de imágenes satelitales y la clasificación correspondiente, la información fue desarrollada para los años 1987 al 2019 con la finalidad la disminución de los Bosques, y por último (Mendoza et al., 2017) en el distrito de Leymebamba realizó los cambios de cobertura boscosa para el periodo de tiempo de 1987 – 2016 utilizando los métodos de clasificación basada en objetos (OBIA) y Corine Land Cover adaptada para Perú a fin de analizar la deforestación en base a la clasificación.

En base a lo anteriormente descrito, se desarrolló la presente investigación con la finalidad de responder al problema suscitado: ¿Cuál es el cambio de la cobertura y uso del suelo del distrito de Corosha, Amazonas durante el periodo 2002 – 2022? Para lo cual se planteó el siguiente objetivo general: evaluar los cambios cobertura y uso de suelo del distrito de Corosha, Amazonas durante el periodo de 2002 – 2022, y los siguientes objetivos específicos: a) Clasificar la cobertura y uso del suelo del distrito de Corosha en los años 2002, 2012 y 2022, b) Analizar los cambios de la cobertura y uso del suelo en el distrito de Corosha durante el periodo 2002 – 2022 y c) Realizar la proyección futura de la cobertura y uso del suelo del distrito de Corosha con escenarios de cambios climáticos.

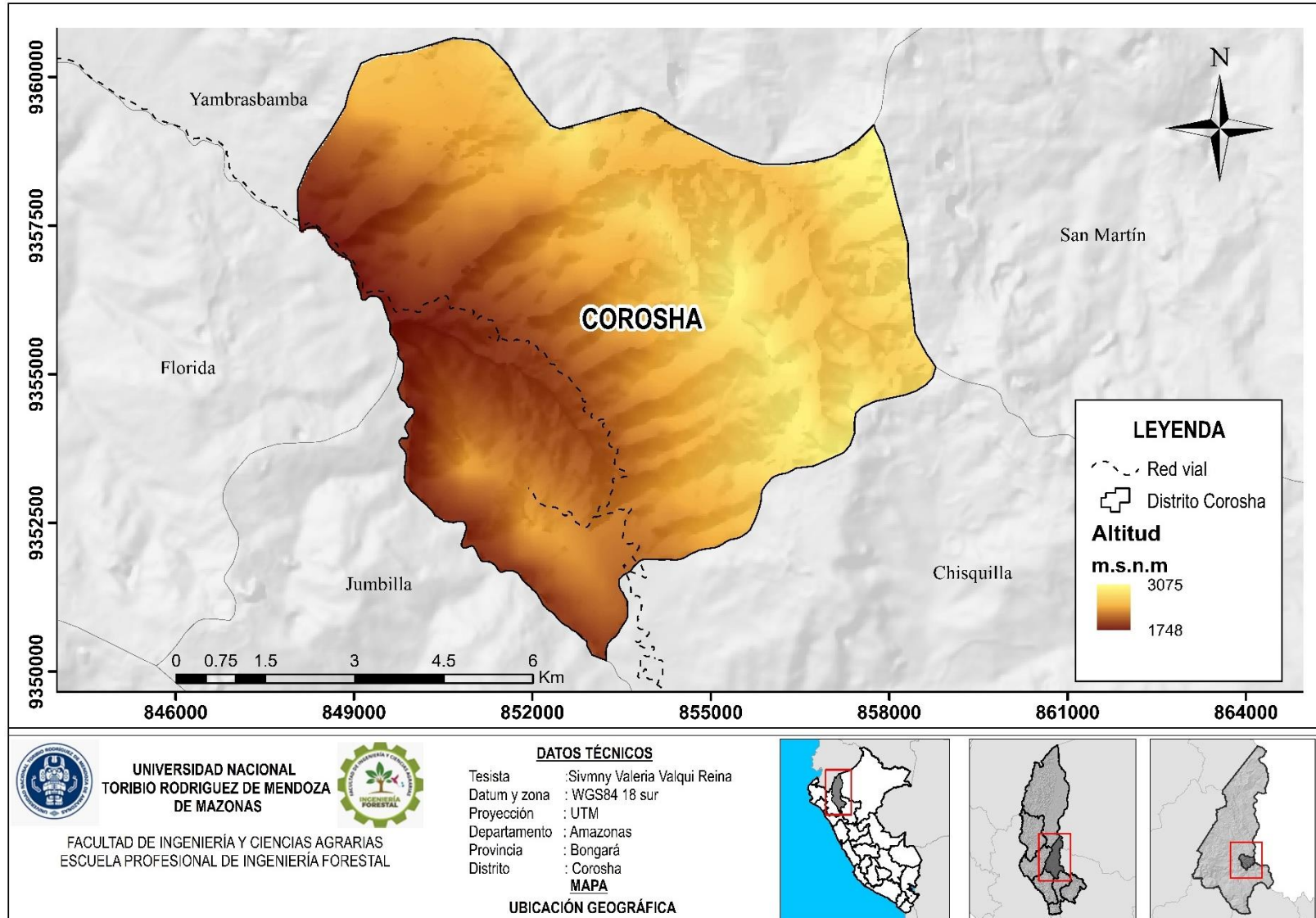
II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Corosha, situado en el nororiente del Perú en la provincia de Bongará, región de Amazonas, cuenta con una superficie de 6 427.16 hectáreas. Sus límites con los distritos son: al norte con Yambrasbamba, al sur con Jumbilla, al este con La Florida, y oeste con el departamento de San Martín. Según las coordenadas geográficas proyectadas – UTM, Corosha se ubica entre las coordenadas 187453 Este y 9353329 Norte. Presenta el rango de altitud entre 1748 – 3075 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Según las características climáticas del área de estudio, presenta clima lluvioso con presencia de nubosidad del 65% a 69%, con temperaturas que fluctúan entre 11°C a 20°C, asimismo presenta una precipitación anual entre 1200 mm y 3000 mm (SENAMHI, 2020).

Figura 1

Ubicación del distrito de Corosha.



2.2. Diseño metodológico

Para la evaluación de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Corosha durante el periodo 2002 al 2022, se realizó mediante el método de clasificación supervisada utilizando el algoritmo Random Forest a través del software R. En el Anexo 6 se presenta el esquema del desarrollo metodológico de la presente investigación.

2.3. Materiales, equipos y software

Para el desarrollo de la presente investigación y cumplir con los objetivos planteados se utilizó la siguiente información:

Tabla 1.
Materiales, equipos y software

Categoría	Descripción
Datos cartográficos	<ul style="list-style-type: none">- Límites políticos a nivel nacional, regional, provincial y distrital del Perú de tipo vector elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)- Red vial de tipo vector elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)- Modelo digital de elevación (DEM) del satélite SRTM de 30 metros de resolución espacial, del Geoservidor del Ministerio del Ambiente (MINAM)- Imágenes satelitales de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)
Software	<ul style="list-style-type: none">- Software GIS- Software R - interfaz Rstudio (ver. 4.2.3)- Windows de Microsoft Office 2023- Software TerrSet 2020
Equipos y materiales	<ul style="list-style-type: none">- Laptop Hp Core i5 8th Gen - 8GB RAM- GPS Garmin- Cámara digital- Memoria externa de 1 TB- Libreta de campo

2.4. Procedimiento metodológico

Para la investigación desarrollada se siguió una secuencia de pasos en base a la teledetección y el sensoramiento remoto.

2.4.1. Selección y recolección de material satelital

Para la evaluación de los cambios de cobertura y uso de suelo se emplearon las imágenes de satélite de los sensores Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Landsat 8 OLI/TIRS, los cuales se encuentran disponibles en la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS, las imágenes adquiridas corresponden al periodo de tiempo de 2002-2022. Para la selección de las imágenes satelitales se tuvo en cuenta características principales como máximo del 10% de nubosidad, y que las mismas no deben ser capturadas en periodos lluviosos. En la Tabla 2 se visualiza las características de las imágenes utilizadas.

Tabla 2.

Características de las imágenes satelitales seleccionadas.

Imagen Satelital	Año	Resolución (m)	Resolución espectral
Landsat 7 ETM	2002	30 x 30	1,2,3,4,5 y 7
Landsat 8 OLI/TIRS	2012	30 x 30	2,3,4,5,6 y 7
Landsat 8 OLI/TIRS	2022	30 x 30	2,3,4,5,6 y 7

2.4.2. Preprocesamiento de las imágenes satelitales

Se estableció el pre procesamiento de las imágenes satelitales mediante la corrección atmosférica empleando la metodología de Chavez o conocido como DOS1, el cual nos permitió corregir geoméricamente y radiométricamente cada pixel de las imágenes satelitales, para esto se empleó la siguiente expresión matemática:

$$L = \frac{DN - offset}{gain_2}$$

$$L = GrescaleDN + Brescale$$

$$L = \left(\frac{Lmax - Lmin}{DN_{max} - DN_{min}} \right) * (DN - DN_{min}) + Lmin$$

El proceso de corrección atmosférica se realizó año a año a través de Rstudio, elaborando un script con los datos de MTLFile de cada paquete de imágenes descargadas por año.

2.4.3. Clasificación supervisada

Se realizó la clasificación supervisada que tiene como base identificar los tipos de cobertura y uso del suelo en el área de estudio.

A. Segmentación

Para la segmentación de imágenes se realizó la separación de las áreas adyacentes que se encuentran espectralmente homogéneas y que muestren consistencia con los bordes observados en el mosaico de las imágenes (Maquera Callo, 2020; MINAM, 2014).

B. Identificación de las clases de cobertura y uso de suelo

Para la identificación de las clases de cobertura y uso de suelo se utilizó la metodología del MINAM denominada Corine Land Cover que fue adaptada para el territorio peruano en el año 2014 (MINAM, 2015). Para ello se recolecto las clases para cada año analizado en formato punto de tipo vector.

C. Clasificación de las imágenes satelitales

La clasificación de la cobertura y uso de suelo para el distrito de Corosha se realizó en el software R en su interfaz Rstudio, aplicando el algoritmo de Random Forest, que utiliza un clasificador de aprendizaje automático para así combinar y analizar las relaciones de alta dimensión entre las coberturas a través de árboles de decisión (Purwanto et al., 2023; Y. Wang et al., 2022). Es por ello que se utilizó datos de entrenamiento (70%) y validación (30%) para obtener así la clasificación de los años correspondientes durante el periodo 2002-2022, para que posterior los resultados de la clasificación se compararon de manera visual con las imágenes de satélite de los años analizados que se encuentran combinadas en color natural (RGB).

D. Matriz de transición

Para el análisis del cambio ocurrido para el distrito de Corosha se empleó la metodología de matrices de transición o conocida también como matriz de Pontius, que sirve para examinar y detectar cambios significativos entre los usos del suelo en periodos de tiempo, teniendo como base un año inicial y año final (Pontius et al., 2004). La matriz se presenta en forma de tabla, el cual permite una comparación directa entre las clases de cobertura y a partir de ello se calcula las ganancias, pérdidas, cambios netos y cambios totales de la

cobertura, logrando así entender el cambio en la dinámica de la cobertura y uso del suelo (Farfán Gutiérrez et al., 2016).

2.4.4. *Proyección de los cambios de cobertura y uso del suelo*

La proyección de los cambios de cobertura y uso del suelo con escenarios de cambios climáticos se realizó para el área de estudio perteneciente al distrito de Corosha, para lo cual se empleó el modelo basado en Cadenas de Markov junto a células autónomas las cuales serán procesadas en el software Terrset (Tobore & Bamidele, 2022), que permitió calcular el porcentaje de probabilidad con respecto al cambio de cobertura y uso del suelo en el área de estudio en un intervalo de tiempo de 38 años, teniendo como resultado la proyección al año 2060, de tal forma que se incluyó variables de importancia para predecir cambios futuros así como tener la influencia de un año inicial y un año final para calcular la predicción (Purwanto et al., 2023).

2.5. Análisis de datos

2.5.1. *Matriz de confusión*

La matriz de confusión o matriz de error permite medir la calidad de los productos generados, siendo así que compara la información clasificada de los sitios para la verificación de los mapas generados para cobertura y uso de suelo. La matriz evalúa con exactitud la clasificación generada con la clasificación referenciada, de tal manera que establece la relación entre los datos definidos por el usuario y los datos que se desea evaluar para la clasificación. Esta matriz se encuentra constituida por columnas y filas, las cuales van acorde con el número de clases empleadas en la clasificación. En las filas se inserta las clases de referencia y en las columnas las clases del mapa, mostrando la confrontación de clases; en la diagonal de la matriz se indica los puntos clasificados y relacionados correctamente según la categoría empleada en las clases (Ariza-López et al., 2018).

2.5.2. *Índice Kappa*

Dentro de la investigación fue necesario verificar la clasificación generada para la cobertura y uso del suelo mediante la medida estadística denominada Índice Kappa, que permitió verificar la similitud entre dos o más clasificaciones generadas, así como la exactitud visual en las etapas de gabinete y campo. Para ello se emplea la siguiente expresión matemática:

$$k = \frac{(Po - Pe)}{(1 - Pe)}$$

Donde:

k: Índice de Kappa

Po: Número de aciertos/Número total de clases

Po: (A1 + B2 + C3)/M

Pe: Cálculo generado en la matriz de confusión

Pe: (EP1 *EU1) + (EP2 * EU2) + (EP3 * EU3)

En la interpretación del valor “k” se consideró la evaluación del Índice de kappa que sirve para medir la consistencia de la clasificación realizada y determinar así si se encuentra dentro del rango óptimo de aceptación para dar la validez a la clasificación. Siendo así los valores se presentan en la Tabla 3

Tabla 3.

Valoración del coeficiente de Kappa

Valor “k”	Fuerza de concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.8	Buena
0.81 – 1.0	Muy buena

(Landis y Koch, 1977)

III. RESULTADOS

3.1. Identificación de las clases de cobertura según Corine Land Cover

En el distrito de Corosha se reconoció cinco categorías distintas de cobertura según la clasificación de Corine Land Cover adaptada para Perú. Estas categorías incluyen: Bosque (BO), Pastos (PT), Pajonal (PJ), Tierras desnudas (TD), Tejido urbano continuo (TUC).

Tabla 4.

Categorías de cobertura de clasificación en el área de estudio.

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo
2. Áreas agrícolas	2.1. Pastos	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques 3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Pajonal

3.2. Análisis del cambio de cobertura para los años 2002, 2012 y 2022

Se generaron los mapas que representan la cobertura vegetal de cada intervalo de tiempo obtenidas del procesamiento de imágenes y se obtuvo lo siguiente:

3.2.1. Cobertura y uso del suelo del año 2002

En la Tabla 5 se muestra la aplicación de la clasificación supervisada donde se logró identificar las cinco categorías de cobertura y uso de suelo con las respectivas proporciones siguientes: Bosque (BO) con 62.99%; Pasto (PT) con 13.79%; Pajonal (PJ) con 10.69%; Tierra desnuda (TD) con 12.45% y Tejido urbano continuo (TUC) 0.07%.

Tabla 5

Superficie de la cobertura y uso del suelo para el año 2002

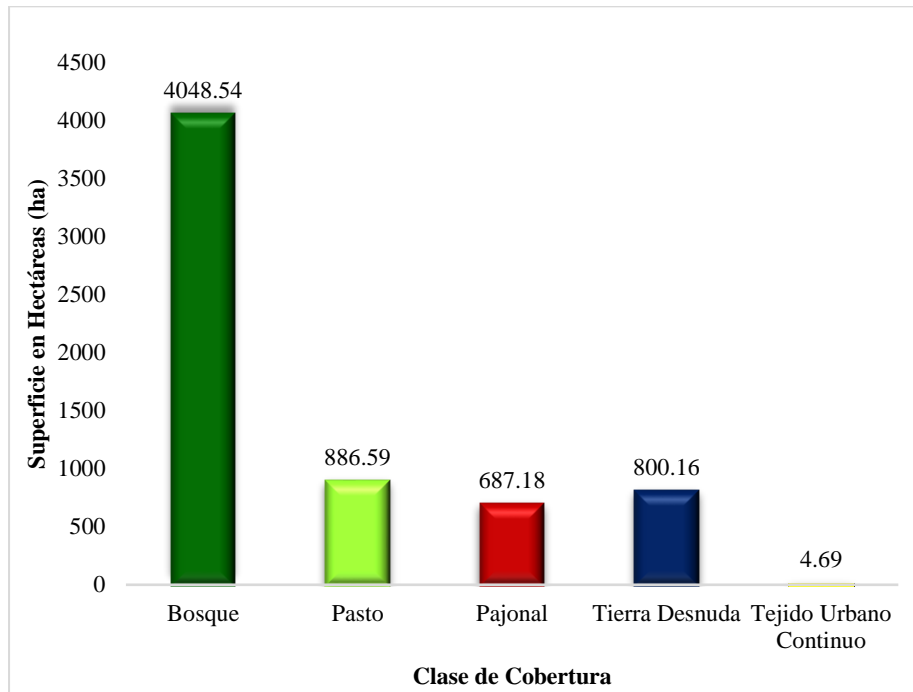
Id	Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
1	Bosque	4048.54	62.99
2	Pasto	886.59	13.79
3	Pajonal	687.18	10.69
4	Tierra Desnuda	800.16	12.45
5	Tejido Urbano Continuo	4.69	0.07
Total		6427.16	100

En la Figura 2 se muestra el histograma de las clases de cobertura y uso del suelo del año 2002 en el distrito de Corosha, que abarca una superficie total de 6427.16 hectáreas. La

distribución de las clases es la siguiente: Bosque ocupa la mayor extensión con 4048.54 ha, seguido de Pasto con 886.59 ha, Pajonal con 687.18 ha, Tierra Desnuda con 800.16 ha, y Tejido Urbano Continuo con 4.69 ha. Estos datos revelan la predominancia de áreas boscosas en el distrito.

Figura 2

Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2002



- **Matriz de confusión**

Se evaluó la confusión de clases durante la clasificación para el año 2002, donde se aprecia que la clase pajonal clasificó 25 áreas de muestreo clasificando todas correctamente y teniendo una exactitud de 100 %, la clase Bosque clasificó 40 áreas de muestreo y confundió 1 área de muestra con la clase pasto obteniendo una precisión de 97.50 %, la clase pasto clasificó 31 áreas de muestreo y confundió 1 área de muestra con la clase pajonal obteniendo una precisión de 96.77 %, en la clase tierra desnuda se clasificaron 22 áreas de muestreo de las cuales 1 fue confundida con la clase bosque, en la clasificación de tejido urbano se clasificaron 10 áreas de muestreo y se clasificaron todas correctamente, con estos resultados se obtuvo una precisión global de 0.97.

Tabla 6*Matriz de confusión año 2002*

Clase	Pajonal	Bosque	Pasto	Tierra desnuda	Tejido urbano	Total	F. Usuario (%)
Pajonal	25	0	1	0	0	26	96.15
Bosque	0	39	0	1	0	40	97.50
Pasto	0	1	30	0	0	31	96.77
Tierra desnuda	0	0	0	21	0	21	100.00
Tejido urbano	0	0	0	0	10	10	100.00
Total	25	40	31	22	10	128	F. Global
F. Usuario (%)	100.00	97.50	96.77	95.45	100.00		0.97

- **Índice Kappa para el año 2002**

$$P_0 = \frac{25 + 39 + 30 + 21 + 10}{128} = 0.976$$

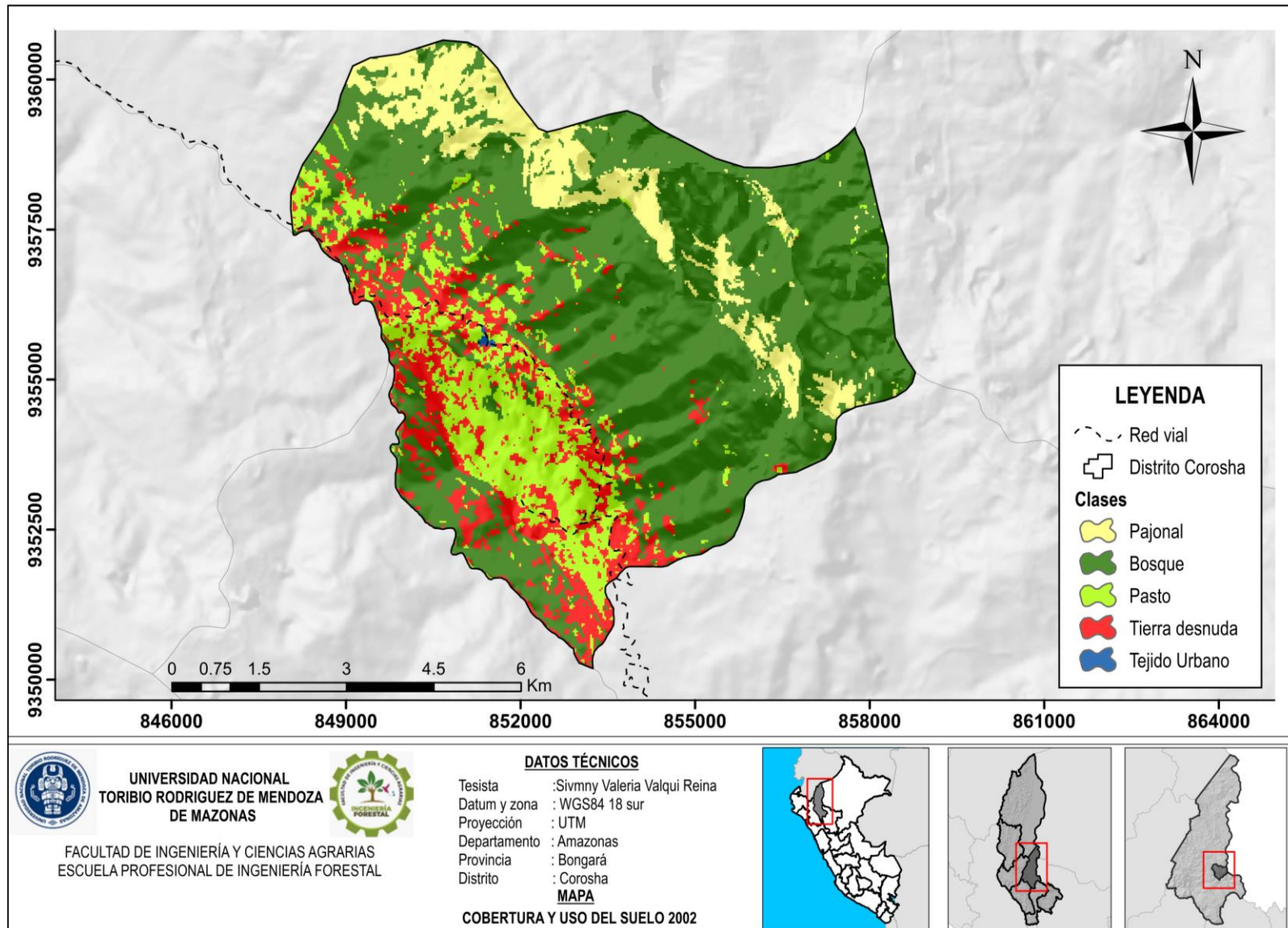
$$P_e = \frac{(25 * 26) + (40 * 40) + (31 * 31) + (22 * 21) + (10 * 10)}{(128 * 128)} = 0.23$$

$$K = \frac{(0.976 - 0.23)}{(1 - 0.23)} = 0.97$$

El índice Kappa obtenido para el año 2002 es de 0.97, lo cual indica que la clasificación obtenida es muy buena.

Figura 3

Mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2002



3.2.2. Cobertura y uso del suelo del año 2012

En la Tabla 7 se muestra la aplicación de la clasificación supervisada para el año 2012, donde se logró identificar las cinco categorías de cobertura y uso de suelo con las respectivas proporciones siguientes: Bosque (BO) con 67.64%; Pasto (PT) con 16.02%; Pajonal (PJ) con 11.10%; Tierra desnuda (TD) con 5.09% y Tejido urbano continuo (TUC) con 0.15%.

Tabla 7

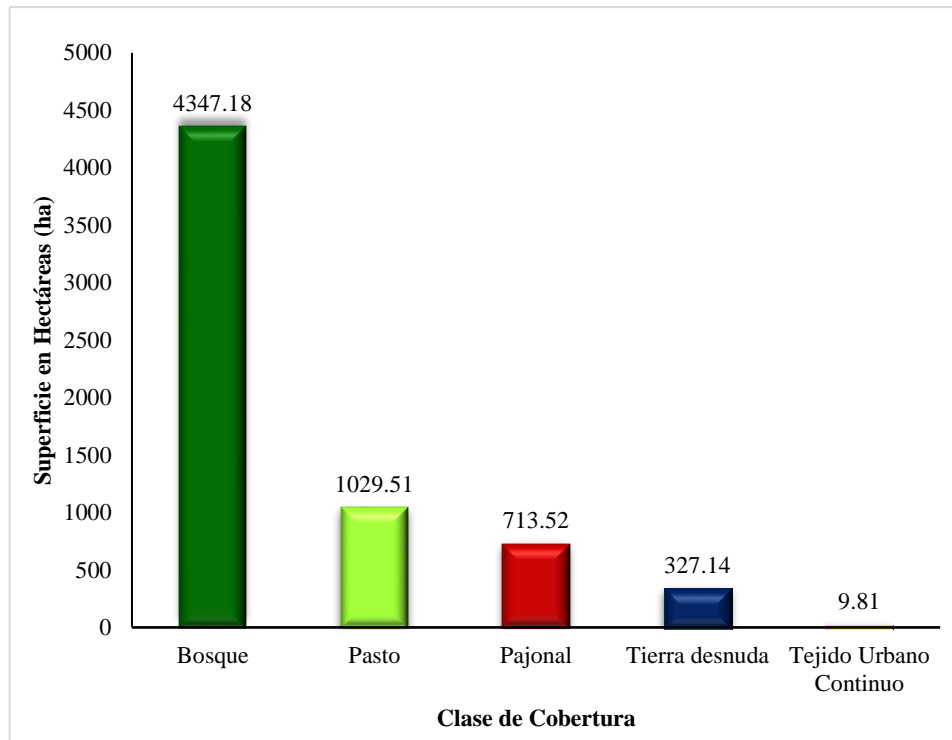
Superficie de la cobertura y uso del suelo para el año 2012

Id	Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
1	Bosque	4347.18	67.64
2	Pasto	1029.51	16.02
3	Pajonal	713.52	11.10
4	Tierra desnuda	327.14	5.09
5	Tejido Urbano Continuo	9.81	0.15
Total		6427.16	100

En la Figura 4 se muestra el histograma de las clases de cobertura y uso del suelo del año 2002 en el distrito de Corosha, que abarca una superficie total de 6427.16 hectáreas. La distribución de las clases es la siguiente: Bosque ocupa la mayor extensión con 4347.18 ha, seguido de Pasto con 1029.51 ha, Pajonal con 713.52 ha, Tierra Desnuda con 327.14 ha, y Tejido Urbano Continuo con 9.81 ha. Estos datos revelan la predominancia de áreas boscosas en el distrito.

Figura 4

Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2012



- **Matriz de confusión**

Se evaluó la confusión de clases durante la clasificación para el año 2012, los resultados se presentan en la tabla 8 para la clasificación del año 2012, donde se aprecia que la clase pajonal clasificó 26 áreas de muestreo clasificando todas correctamente y teniendo una exactitud de 100 %, la clase Bosque clasificó 45 áreas de muestreo y confundió 1 área de muestra con la clase pasto obteniendo una precisión de 97.83 %, la clase pasto clasificó 32 áreas de muestreo y confundió 1 área de muestra con la clase pajonal obteniendo una precisión de 96.88 %, en la clase tierra desnuda se clasificaron 23 áreas de muestreo de las cuales 1 fue confundida con la clase bosque teniendo una precisión de 95.65 %, en la clasificación de tejido urbano se clasificaron 12 áreas de muestreo y se clasificaron todas correctamente, con estos resultados se obtuvo una precisión global de 0.96.

Tabla 8*Matriz de confusión año 2012*

Clase	Pajonal	Bosque	Pasto	Tierra desnuda	Tejido urbano	Total	F. Usuario (%)
Pajonal	26	0	1	0	0	27	96.30
Bosque	0	45	0	1	0	46	97.83
Pasto	0	1	31	0	0	32	96.88
Tierra desnuda	0	0	0	22	0	22	100.00
Tejido urbano	0	0	0	0	12	12	100.00
Total	26	46	32	23	12	139	F. Global
F. Usuario (%)	100.00	97.83	96.88	95.65	100.00		0.96

- **Índice Kappa para el año 2012**

$$P_0 = \frac{26 + 45 + 31 + 22 + 12}{139} = 0.978$$

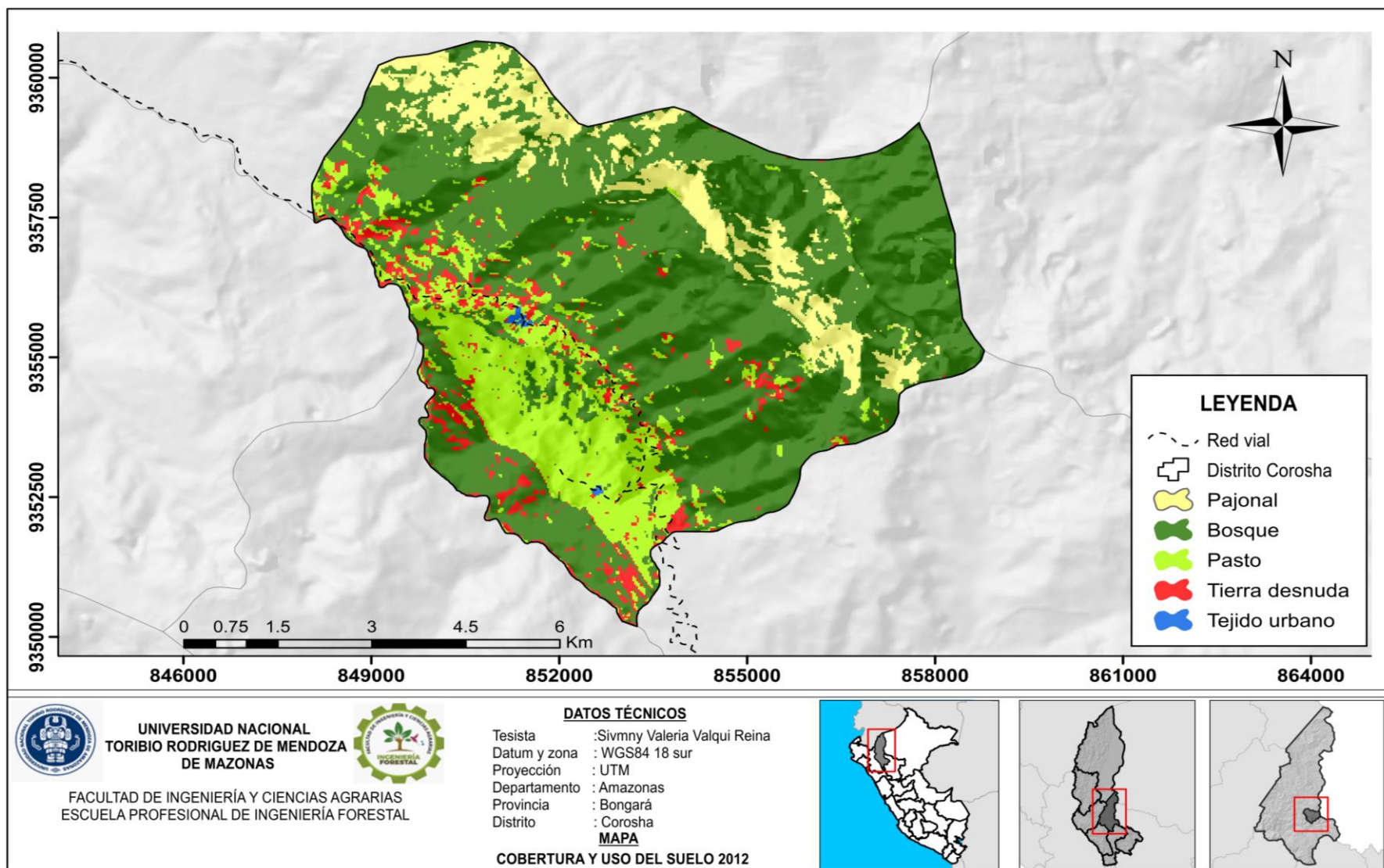
$$P_e = \frac{(26 * 27) + (46 * 46) + (32 * 32) + (23 * 22) + (12 * 12)}{(139 * 139)} = 0.23$$

$$K = \frac{(0.978 - 0.23)}{(1 - 0.23)} = 0.978$$

El índice Kappa obtenido para el año 2012 es de 0.97, lo cual indica que la clasificación obtenida es muy buena.

Figura 5

Mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2012



3.2.3. Cobertura y uso del suelo del año 2022

En la Tabla 9 se muestra la aplicación de la clasificación supervisada para el año 2012, donde se logró identificar las cinco categorías de cobertura y uso de suelo con las respectivas proporciones siguientes: Bosque (BO) con 64.71%; Pasto (PT) con 20.53%; Pajonal (PJ) con 9.95%; Tierra desnuda (TD) con 4.55% y Tejido urbano continuo (TUC) con 0.27%.

Tabla 9.

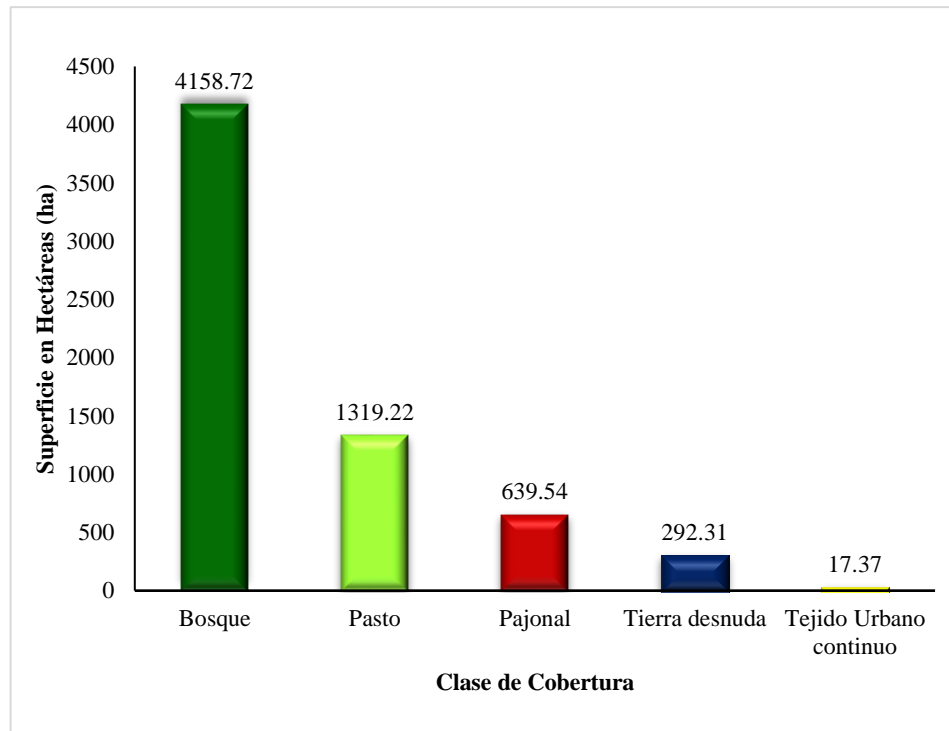
Superficie de la cobertura y uso del suelo para el año 2022

Id	Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
1	Bosque	4158.72	64.71
2	Pasto	1319.22	20.53
3	Pajonal	639.54	9.95
4	Tierra desnuda	292.31	4.55
5	Tejido Urbano continuo	17.37	0.27
Total		6427.16	100

En la Figura 6 se muestra el histograma de las clases de cobertura y uso del suelo del año 2002 en el distrito de Corosha, que abarca una superficie total de 6427.16 hectáreas. La distribución de las clases es la siguiente: Bosque ocupa la mayor extensión con 4158.72 ha, seguido de Pasto con 1319.22 ha, Pajonal con 639.54 ha, Tierra Desnuda con 292.31 ha, y Tejido Urbano Continuo con 17.37 ha. Estos datos revelan la predominancia de áreas boscosas en el distrito.

Figura 6

Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2022



- **Matriz de confusión**

Se evaluó la confusión de clases durante la clasificación para el año 2022, los resultados se presentan en la tabla 10 para la clasificación del año 2012, donde se aprecia que la clase pajonal clasificó 24 áreas de muestreo clasificando todas correctamente y teniendo una exactitud de 100 %, la clase Bosque clasificó 41 áreas de muestreo de las cuales confundió 1 área de muestra con la clase pasto obteniendo una precisión de 97.56 %, la clase pasto clasificó 34 áreas de muestreo de las cuales confundió 1 área de muestra con la clase pajonal obteniendo una precisión de 97.06 %, en la clase tierra desnuda se clasificaron 22 áreas de muestreo de las cuales 1 fue confundida con la clase bosque teniendo una precisión de 95.45 %, en la clasificación de tejido urbano se clasificaron 11 áreas de muestreo y se clasificaron todas correctamente, con estos resultados se obtuvo una precisión global de 0.96.

Tabla 10*Matriz de confusión año 2022*

Clase	Pajonal	Bosque	Pasto	Tierra desnuda	Tejido urbano	Total	F. Usuario (%)
Pajonal	24	0	1	0	0	25	96.00
Bosque	0	40	0	1	0	41	97.56
Pasto	0	1	33	0	0	34	97.06
Tierra desnuda	0	0	0	21	0	21	100.00
Tejido urbano	0	0	0	0	11	11	100.00
Total	24	41	34	22	11	132	F. Global
F. Usuario (%)	100.00	97.56	97.06	95.45	100.00		0.96

- **Índice Kappa para el año 2022**

$$P_0 = \frac{24 + 40 + 33 + 21 + 11}{132} = 0.977$$

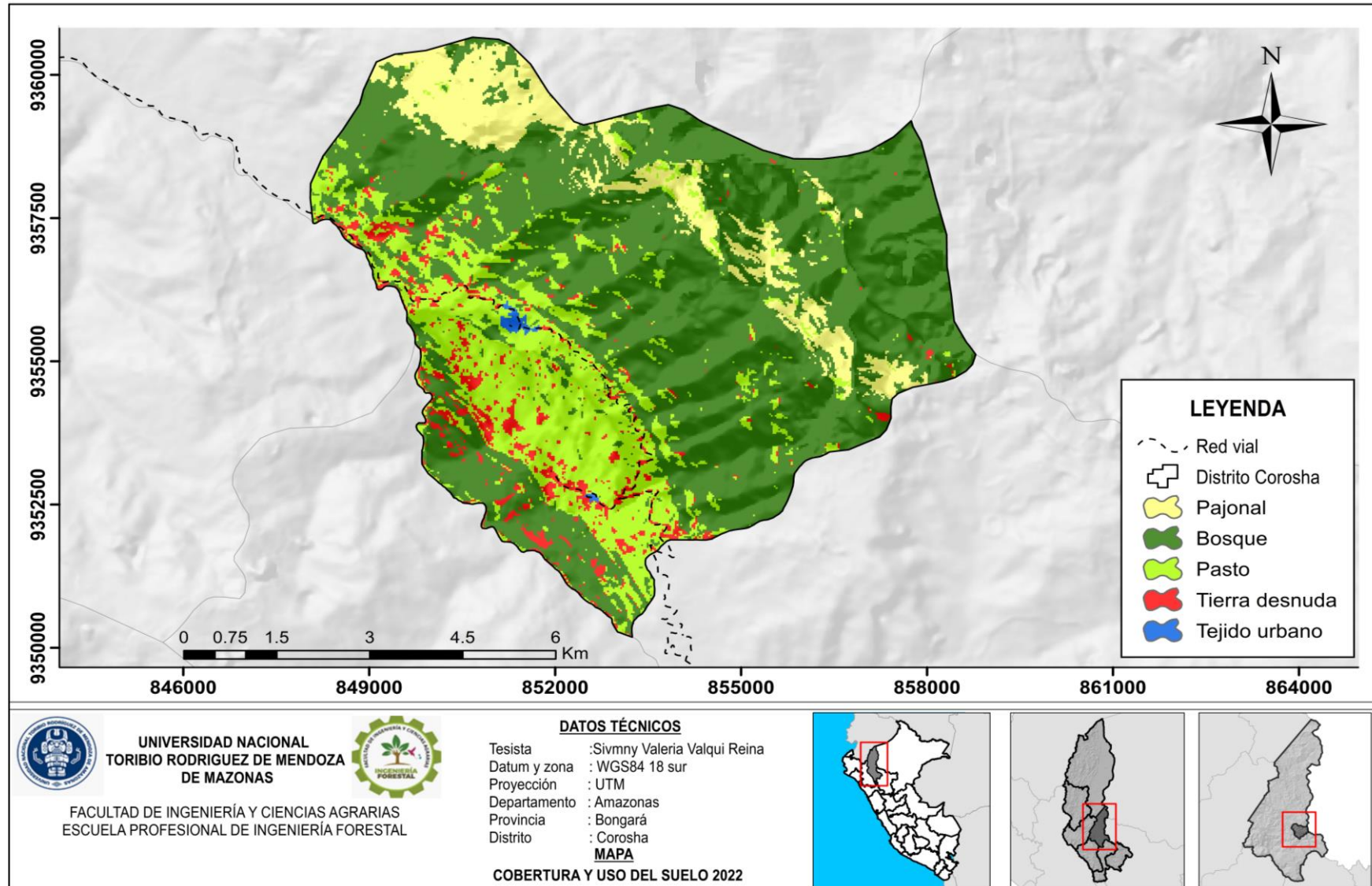
$$Pe = \frac{(24 * 25) + (41 * 41) + (34 * 34) + (22 * 21) + (11 * 11)}{(132 * 132)} = 0.23$$

$$K = \frac{(0.977 - 0.23)}{(1 - 0.23)} = 0.970$$

El índice Kappa obtenido para el año 2022 es de 0.970, lo cual indica que la clasificación obtenida es muy buena.

Figura 7

Mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2022



3.3. Cambio de uso y ocupación del suelo del distrito de Corosha

Las transformaciones en el uso y ocupación del suelo a lo largo del periodo de 20 años que comprendidos entre el 2002 – 2022 en el distrito de Corosha fueron evaluados mediante el análisis de cambio y no cambio, estos resultados que visualizan en la tabla 11 y figura 8.

Tabla 11

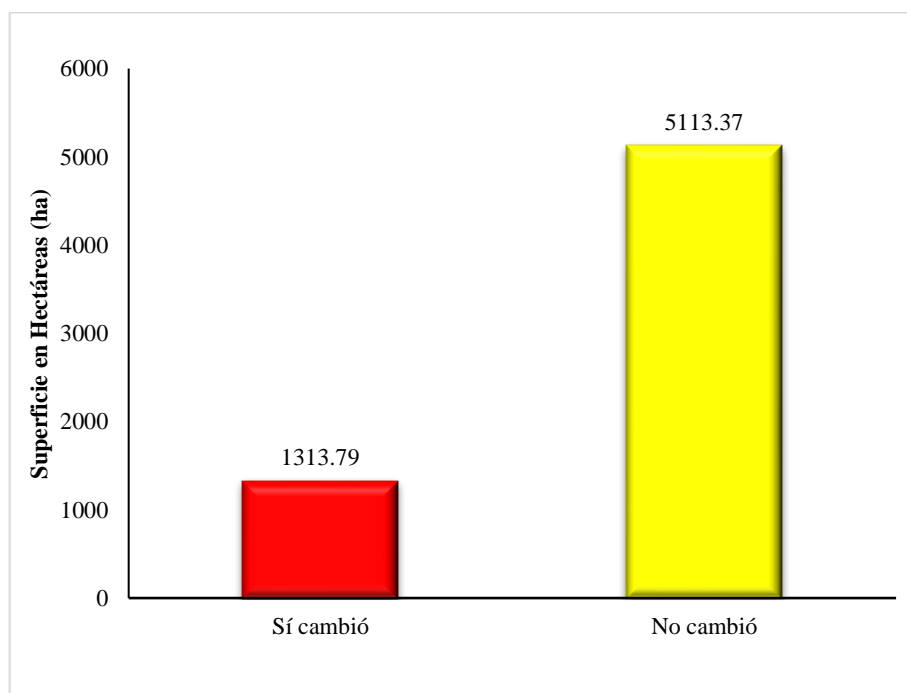
Cambio y no cambio de la superficie del distrito de Corosha

Cambio	Superficie (ha)	Superficie (%)
Sí cambió	1313.79	20.44
No cambió	5113.37	79.55
Total	6427.16	100

En la Figura 8 se muestra el cambio de uso del suelo en el distrito de Corosha ocurrido durante el periodo 2002 – 2022, donde se aprecia que 1313.79 ha correspondiente al 20.44% del total del territorio si cambió y 5113.37 ha correspondientes al 79.55% del total del territorio no cambió.

Figura 8

Cambio y no cambio en el uso del suelo durante el periodo 2002 - 2022



En la Figura 9 se presenta de manera gráfica como se dio los cambios en cada una de las clases de cobertura y uso del suelo en los años 2002, 2012 y 2022, donde se aprecia que la clase Bosque tuvo un aumento con respecto al año 2002, los pastos y tejido urbano tuvieron un aumento con el pasar de los años, la clase Tierra desnuda disminuyó y la clase pajonal disminuyó considerablemente.

Figura 9

Cambio en las clases de cobertura y uso de suelo durante el periodo 2002 - 2022

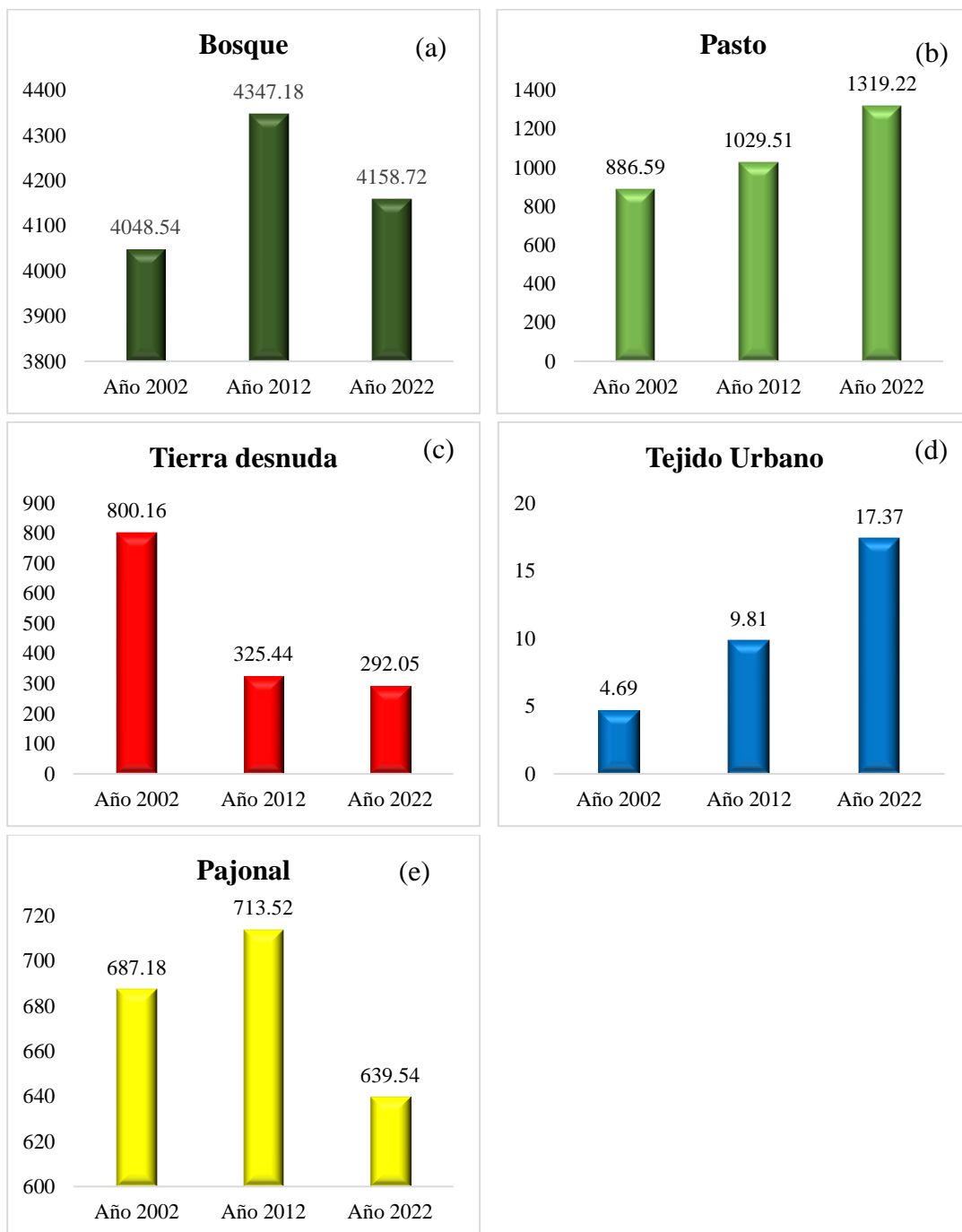
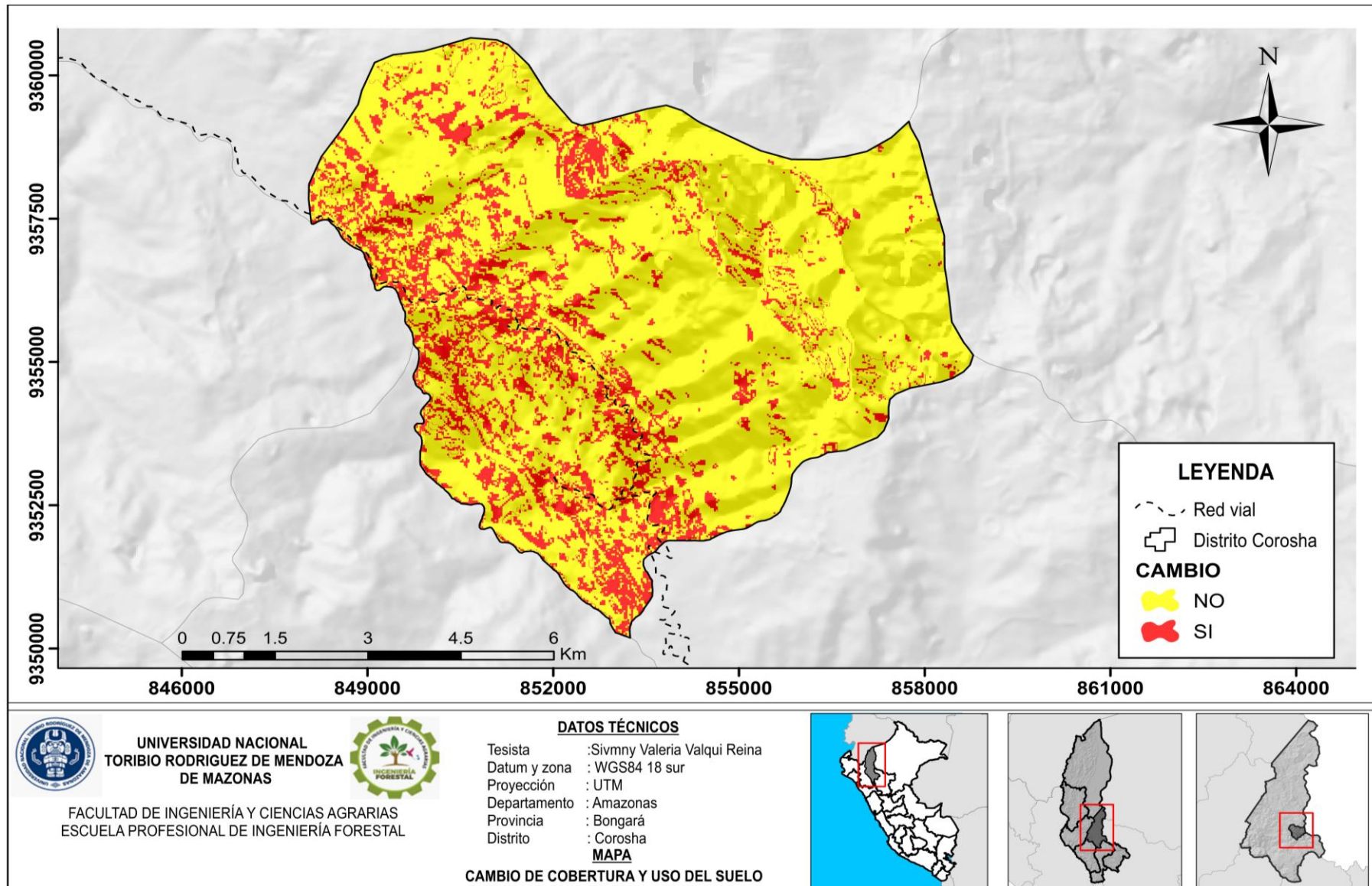


Figura 10

Mapa de cambio y no cambio de la cobertura y uso de suelo durante el periodo 2002 – 2022



3.4. Índice de deforestación del distrito de Corosha

El índice de deforestación a lo largo de los 20 años evaluados el cual comprende el periodo 2002 – 2022 en el distrito de Corosha, fueron evaluados mediante el análisis en base a las clasificaciones de los años evaluados, donde se consideró las clases de bosque y no bosque; estos resultados se visualizan en la tabla 12 y figura 11

Tabla 12 Índice de deforestación del distrito de Corosha

Clase	2002	2012	2022
Bosque	4056.08	4359.36	4171.25
No Bosque	2371.08	2067.79	2255.91
Total	6427.16	6427.16	6427.16

En la Figura 11, se presenta gráficamente la evolución de la deforestación en los años 2002, 2012 y 2022. Durante este período, se observa un aumento en la pérdida de bosques en el año 2012 en comparación con el año 2002. Sin embargo, es notable que este cambio experimenta una disminución significativa de 188.11 hectáreas para el año 2022. Específicamente, la clase Bosque muestra un incremento en la forestación entre 2002 y 2012, seguido de una reducción notoria en la pérdida de cobertura forestal para el año 2022, indicando un cambio en la tendencia.

Figura 11

Índice de deforestación del distrito de Corosha

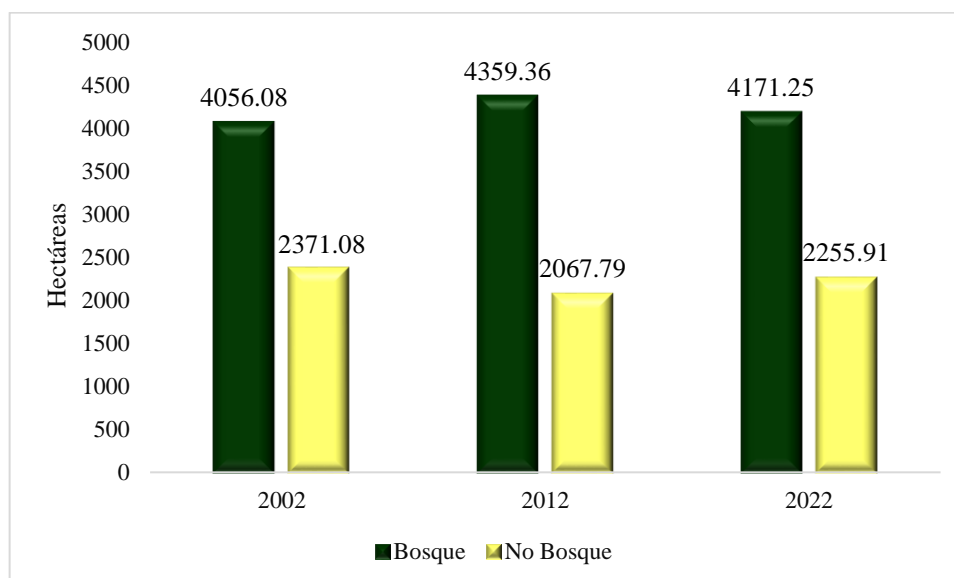
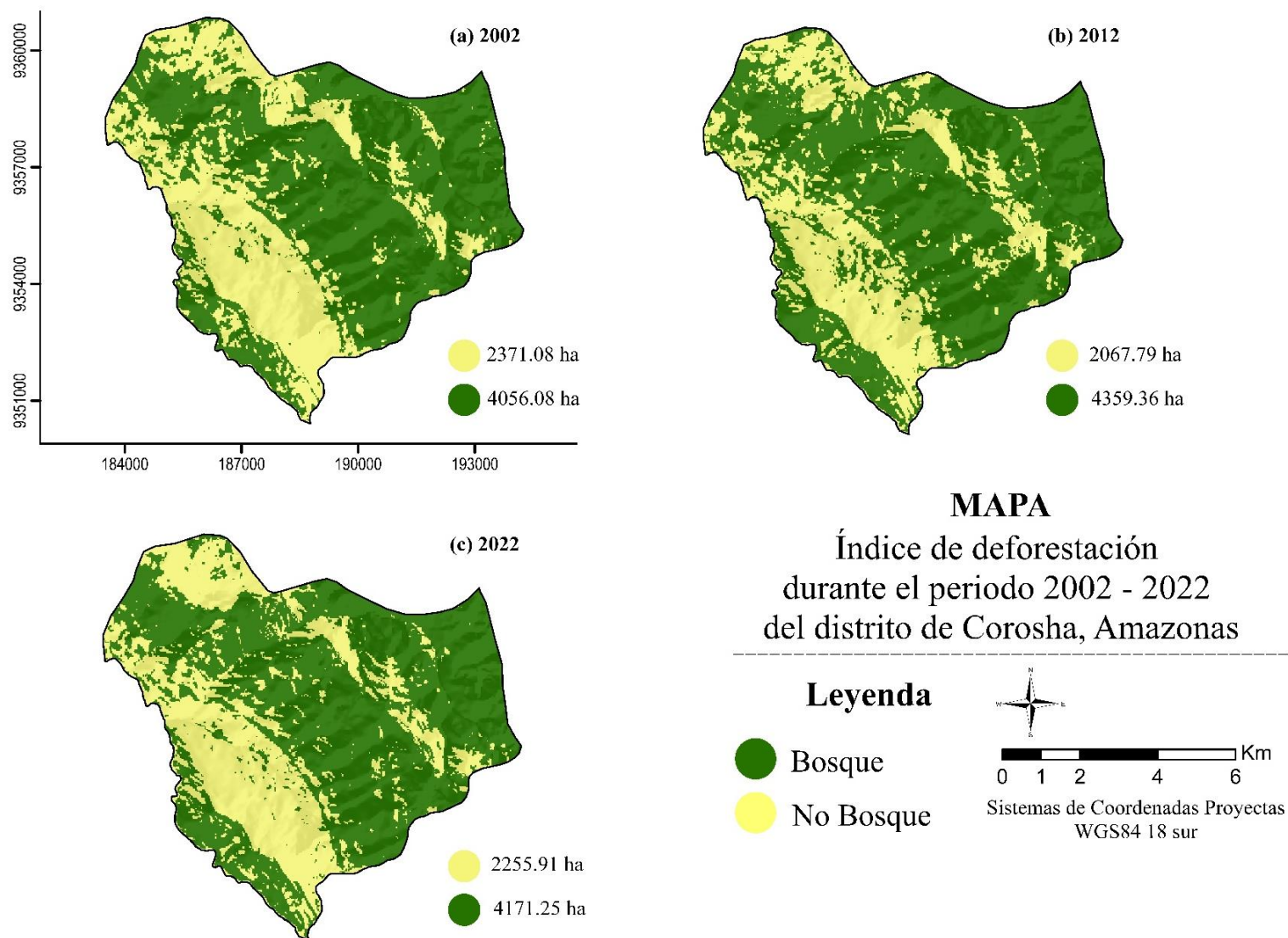


Figura 12

Mapa del Índice de deforestación del distrito de Corosha durante el periodo 2002 - 2022



3.5. Proyección futura de la cobertura y uso del suelo

Se realizó la proyección de la cobertura y uso del suelo para el año 2060, los resultados se presentan a continuación en la tabla 13 y figura 13 se muestra la distribución de la cobertura y uso del suelo para el año 2060, donde se logró identificar las cinco categorías de cobertura y uso de suelo con las respectivas proporciones siguientes: Bosque (BO) con 3797.01 ha (59.08%); Pasto (PT) con 1615.23 ha (25.13%); Pajonal (PJ) con 638.64 ha (9.94%); Tierra desnuda (TD) con 358.83 ha (5.58%) y Tejido urbano continuo (TUC) con 17.45 ha (0.27%).

Tabla 13

Superficie de las clases de cobertura y uso de suelo en el año 2060

Id	Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
1	Bosque	3797.01	59.08
2	Pasto	1615.23	25.13
3	Pajonal	638.64	9.94
4	Tierra desnuda	358.83	5.58
5	Tejido Urbano continuo	17.45	0.27
Total		6427.16	100

Figura 13

Composición de la cobertura y uso del suelo para el año 2060

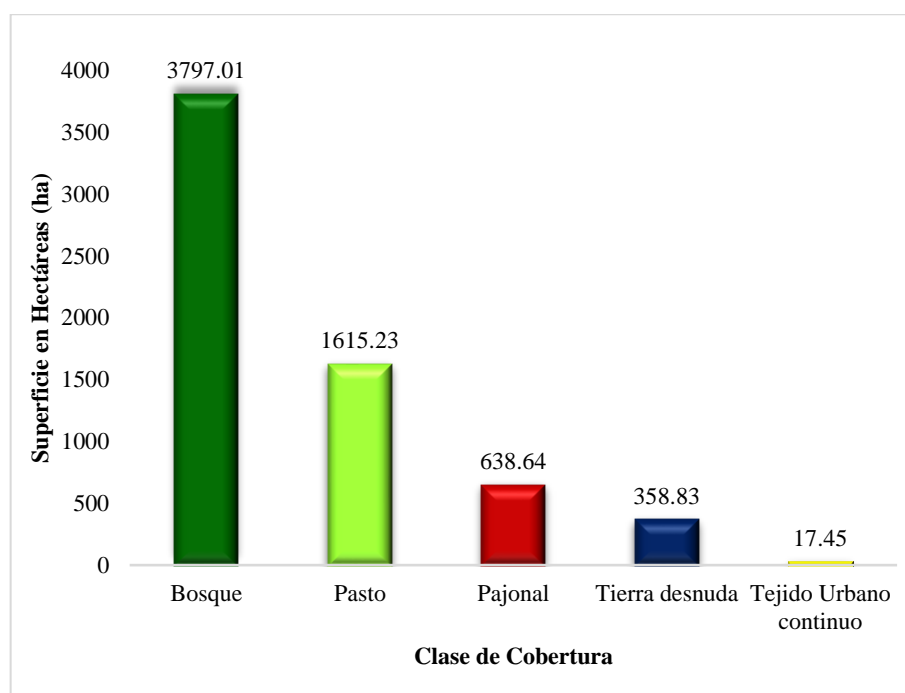
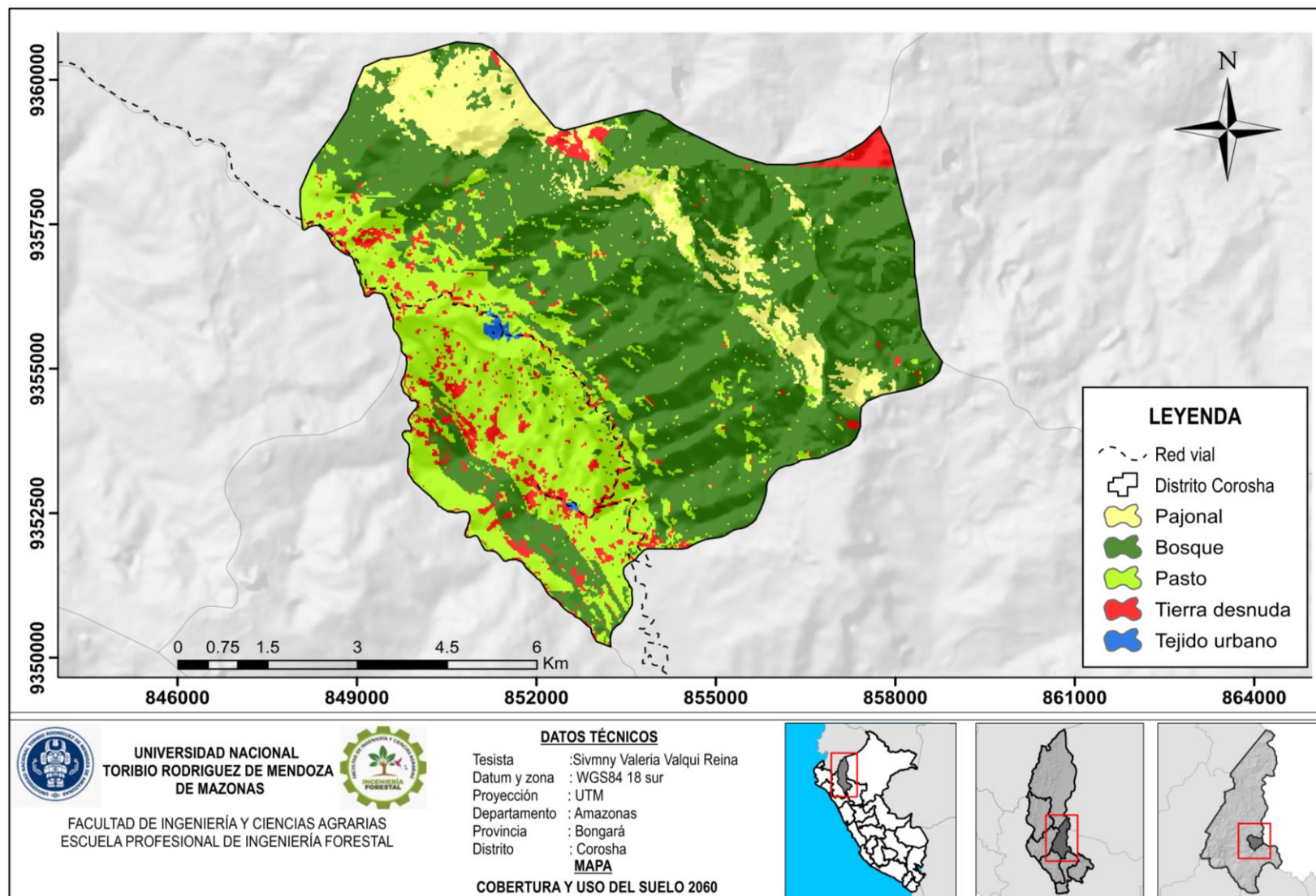


Figura 14

Mapa de cobertura y uso de suelo del año 2060



IV. DISCUSIONES

El distrito de Corosha cuenta con una extensión territorial de 6 427.16 hectáreas, donde se logró identificar cinco categorías de la cobertura más representativas mediante la aplicación de la clasificación Corine Land Cover (CLC) adaptada para Perú que se encuentran descritos por el MINAM (2014). Las categorías de cobertura representativas son Bosque (BO), Pasto (PT), Pajonal (PJ), Tierra desnuda (TD) y Tejido urbano continuo (TUC). Mediante el análisis realizado para los años de estudio se logró identificar que para el año 2002, la cobertura de tipo Bosque abarca 4048.54 hectáreas del total de la extensión territorial, en el transcurso del tiempo esta clase de cobertura experimentó cambios para el año 2012 donde se registra 4347.18 hectáreas, lo cual indica un incremento de esta cobertura por las campañas de forestación ejecutadas por el Gobierno Regional de Amazonas con la finalidad de proteger las nacientes del río principal de la zona, sin embargo para el año 2022 se registró 4158.72 hectáreas de Bosque el cual muestra una pérdida tal como se registra en la plataforma de (Geobosques, 2021). Siendo así que la pérdida de bosques en grandes extensiones pone en riesgo la vida y por ende el Área de conservación privada presente en la zona, el cual es fuente fundamental de servicios ecosistémicos para la comunidad campesina de Corosha, así como también la protección de las cabeceras de cuencas.

La dinámica en la categoría Pajonal a lo largo de los años, refleja un cambio en el uso del suelo, ya que presenta una disminución en su extensión de territorio, siendo así que para el año 2002 se contaba con 687.18 ha que representa el 10.69% de ocupación, en cambio para el año 2022 tan solo se cuenta con 639.54 ha que representa el 9.95% de ocupación, el cual indica que es un tipo de cobertura frágil a los cambios de uso de suelo por actividades de ganadería o habilitación de vías de comunicación, así como también el incremento de incendios que provocan alteraciones ecosistémicas (Oliva et al., 2017), este tipo de pérdidas de cobertura afecta a la regulación hídrica durante la época seca, así como también al endemismo de flora y fauna presente en la zona (Rincón, 2015). Es por ello que la pérdida de este tipo de cobertura afecta no solo al distrito de Corosha por actividades antrópicas, sino también a las áreas cercanas a ellas, ya que no solo se pierde cobertura vegetal como tal sino también fuentes de abastecimiento de agua y especies de gran importancia plasmadas en el reporte del plan maestro del Área de Conservación Privada Hierba Buena Allpayacu para proteger estos tipo de cobertura donde habita el mono choro cola amarilla, oso de anteojos, oso dorado, orquídeas, etc.

Por otra parte, la categoría de Pasto se denota un incremento valioso, ya que para el año 2002 cuenta con un total de 886.59 ha de la superficie total, pasado un periodo de diez años en el año 2012 se incrementa 1029.51 ha de la superficie y para el año 2022 cuenta ya con 1319.22 ha, por lo que se puede decir que se ha incrementado las actividades agrícolas ganaderas que se encuentran asociadas al factor de migración social que no pueden optar una actividad sostenible (Briceño et al., 2019); mostrando así una tendencia real en el desarrollo de actividades agrarias y ganaderas en la región como respuesta de la comunidad local que busca encontrar medios sostenibles de subsistencia sin prestar atención a los impactos vinculados a la biodiversidad (Zumaeta, 2019). Este rápido crecimiento de la ganadería y la agricultura en Corosha ha tenido repercusiones negativas en el ecosistema local, ya que estas actividades han llevado consigo a la deforestación significativa y la conversión de áreas naturales como bosques y pajonales en tierras de cultivo y pastizales afectando así a los impactos de la calidad de suelo, erosión, fragmentación del paisaje, así como la calidad de suelo y agua del distrito.

La notable disminución de tierra desnuda en el distrito de Corosha durante los años evaluados ha pasado de 800.16 ha en el 2002 a 292.05 ha en el 2022, el cual indica un proceso de revegetación que se encuentra ligado a las prácticas de actividades agrícolas y ganadera (Q. Wang et al., 2012). Este fenómeno revela la relación entre las actividades económicas y de subsistencia de la zona y la gestión del paisaje. Sin embargo, es importante destacar que la disminución de la tierra desnuda, aunque parezca ser una respuesta a las necesidades locales, podría tener consecuencias a lo largo del tiempo para el distrito, ya que la transición hacia prácticas agrícolas y ganaderas pueden resultar insostenibles dado que el distrito carece de las condiciones ecológicas y edáficas adecuadas para el cultivo óptimo de sus tierras (IIAP, 2019). Este proceso puede resultar en la apertura constante de nuevas parcelas, el cual contribuye a la fragmentación del paisaje y presentando así desafíos significativos para la conservación de la ACP aledaña y que esta sea sostenible a lo largo del tiempo debido al aumento de las actividades agrícolas de la región.

La expansión territorial de la clase de Tejido urbano a lo largo del tiempo aumentado de 4.69 ha en 2002 a 17.37 ha en 2022, el cual revela un cambio significativo debido a factores como el aumento poblacional incursionado por las migraciones, que desencadena la demanda de construcción de viviendas y por ende mayor expansión urbana el cual facilita el desarrollo de tejido urbano (Jing et al., 2023), especialmente en el centro

poblado de Beirut que se ha convertido en un foco importante de urbanización, gracias a su ubicación estratégica y visto como mayor atractivo para la inversión, el cual indica mayor facilidad de la construcción de la carretera principal Belaunde Terry con conectividad en la selva peruana (INEI, 2020). Sin embargo, la expansión urbana genera grandes desafíos para la gestión de recursos y la preservación de áreas naturales protegidas dentro del territorio sin tomar en cuenta sostenibilidad ambiental, el cual pone en riesgo los servicios ecosistémicos y la biodiversidad local.

Sin embargo, al evaluar las dinámicas de cambio y no cambio en el área de estudio durante el periodo 2002 al 2022, se revela que tan solo el 20.44% de la superficie total del distrito de Corosha experimentó modificaciones en las coberturas. Este hallazgo indica que la mayor parte del territorio mantiene estabilidad relativa en las características de uso del suelo, sin mostrar así alteraciones de gran impacto en el paso del tiempo. Esta estabilidad en la dinámica de la cobertura nos indica que se encuentra vinculada a la implementación de un área de conservación que ha restringido los cambios significativos y limita los cambios de paisaje (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental [SPDA], 2011).

Durante el período de evaluación comprendido entre 2002 y 2022, los índices de deforestación en el distrito de Corosha revelan una tendencia mixta en la extensión de los bosques. En la primera década, se observó un aumento de 303.28 ha en la cobertura forestal, atribuible a iniciativas de forestación y reforestación que lograron recuperar áreas potencialmente degradadas. No obstante, la situación cambió en la segunda década de evaluación, donde se registró una disminución de 188.11 ha en la ocupación del suelo. Este descenso se vincula directamente con actividades antrópicas, como la agricultura, la ganadería y la expansión urbana, que han provocado alteraciones significativas en la estructura del suelo (Zhao et al., 2023).

La proyección de cambios en la cobertura y uso del suelo para el año 2060 revela una tendencia preocupante de disminución en las áreas de bosques (3 737.01 ha) y pajonales (638.64 ha). Teniendo en cuenta el aumento de eventos climáticos extremos como sequías, incendios forestales y cambios en la precipitación que se encuentran influenciados por alteraciones climáticas significativas que contribuyen a la pérdida de estas coberturas vegetales y afectan a la zona de estudio (Achicanoy et al., 2018). Además de los factores climáticos, las actividades antrópicas como migraciones de actividades agrícolas y ganaderas que también desempeñan un papel importante para los cambios

siendo así que se demuestran un incremento en las clases de Tierra desnuda (358.83 ha) y Pasto (1 615.23 ha), es por ello que los cambios de cobertura se ven influenciadas por los impactos climáticos ocurrentes en la zona el cual enfrenta desafíos significativos que influyen directamente con el cambio de cobertura y uso del suelo. Siendo esta proyección un punto importante para relacionar y desarrollar futuras estrategias de gestión que aborden los conflictos de cambio de uso de suelo que enfrenta el distrito de Corosha.

V. CONCLUSIONES

- En el análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo durante el periodo 2002 – 2022 en el distrito de Corosha, se identificó dos categorías principales de cobertura: Bosque (BO) y Pajonal (PJ), así como tres tipos de uso del suelo: Pasto (PT), Tierra desnuda (TD) y Tejido Urbano Continuo (TUC). La cobertura de tipo Bosque se destaca como la de mayor extensión en la superficie terrestre del distrito en comparación con la de tipo Pajonal, siendo ambas las más afectadas por la pérdida de superficie que ocupan. Por otro lado, el análisis revela un aumento sustancial en el uso de suelo destinado a Pasto, ya que a lo largo de los años evaluados presenta un cambio significativo junto con el Tejido Urbano Continuo el cual indica un proceso de urbanización que se encuentra en curso. Además, también refleja la disminución de Tierras desnudas el cual se ve influenciada por los ajustes en las estrategias agrícolas y de conservación de la zona.
- Se aplicó las cadenas de Markov para realizar la proyección con escenarios de cambio climático para el año 2060, donde se evaluó la transición de la cobertura y uso suelo para el distrito de Corosha. En este proceso, se destacó tendencias notables en comparación con el año 2022. Se observó que existe una disminución de la ocupación del territorio para las clases de Bosque que paso a tener 3797.01 ha y Pajonal registró 638.64 ha, el cual indica una reducción en el territorio que se encuentra influenciado por los efectos de cambio climático. Por otro lado, se identificó un aumento significativo en las clases de Pasto que cuenta con una extensión territorial de 1615.23 ha y Tierra desnuda de 358.83 ha, lo que muestra una transformación en las actividades agrícolas y ganaderas en respuesta a las condiciones climáticas cambiantes para el distrito. En cuanto a la clase de Tejido Urbano Continuo se registró solamente un cambio moderado que llegó a 17.45 ha para el año 2060, el cual indica que hubo un crecimiento gradual en el desarrollo urbano y la expansión urbana se encuentra relativamente limitada.

VI. RECOMENDACIONES

- Debido al proceso de pérdida de cobertura boscosa y pajonal que atraviesa el distrito de Corosha, se recomienda establecer monitoreos continuos para evaluar la efectividad de las estrategias de conservación implementadas en la zona, con la finalidad que permita ajustar y actualizar según sea necesario los planes de conservación y gestión en respuesta al cambio de la cobertura y uso del suelo.
- Considerando la influencia de las actividades humanas en la pérdida de cobertura, se sugiere implementar programas de educación ambiental dirigido a los pobladores locales con el fin de concientizar sobre la importancia de la conservación de bosques y pajonales, de tal forma que se pueda frenar el aumento desmesurado de las extensiones de Pasto y Tierra desnuda, implementando nuevas técnicas agrícolas y ganaderas que minimicen el impacto en la cobertura vegetal.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achicanoy, J. A., Rojas-Robles, R., & Sánchez, J. E. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, *ISSN 0124-177X, ISSN-e 2357-5905, Vol. 21, N°. 1, 2018, Págs. 41-58, 21(1)*, 41–58. https://doi.org/10.15446/ga.v20n2._____
- Aquilué, N., De Cáceres, M., Fortin, M. J., Fall, A., & Brotons, L. (2017). A spatial allocation procedure to model land-use/land-cover changes: Accounting for occurrence and spread processes. *Ecological Modelling*, *344*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.11.005>
- Ariza-López, F. J., Rodríguez-Avi, J., & Alba-Fernández, V. (2018). Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 215–226. <https://doi.org/10.21138/GF.591>
- Briceño, N. B. R., Castillo, E. B., Quintana, J. L. M., Cruz, S. M. O., & López, R. S. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, *0(81)*. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Camacho, R., Camacho Sanabria, J. M., Ángel Balderas Plata, M., & Sánchez López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, *ISSN-e 1405-0471, Vol. 23, N°. 3, 2017, Págs. 39-60, 23(3)*, 39–60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Castillo, E. B., Turpo Cayo, E. Y., De Almeida, C. M., López, R. S., Rojas Briceño, N. B., Silva López, J. O., Gurbillón, M. Á. B., Oliva, M., & Espinoza-Villar, R. (2020). Monitoring wildfires in the northeastern peruvian amazon using landsat-8 and sentinel-2 imagery in the GEE platform. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *9(10)*. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100564>
- Chuquibala, C. E. M. (2022). Análisis multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Yambrasbamba, Amazonas, Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, *5(1)*, 20–28. <https://doi.org/10.25127/UCNI.V4I3.803>
- Devkota, P., Dhakal, S., Shrestha, S., & Shrestha, U. B. (2023). Land use land cover

- changes in the major cities of Nepal from 1990 to 2020. *Environmental and Sustainability Indicators*, 17, 100227. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2023.100227>
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. *FAO*, 100.
- Farfán Gutiérrez, M., Rodríguez-Tapia, G., & Mas, J. F. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 2016(90), 89–104. <https://doi.org/10.14350/RIG.48600>
- Fu, L., Bo, T., Du, G., & Zheng, X. (2012). Modeling the responses of grassland vegetation coverage to grazing disturbance in an alpine meadow. *Ecological Modelling*, 247, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.08.027>
- Ge, G., Zhang, J., Chen, X., Liu, X., Hao, Y., Yang, X., & Kwon, S. M. (2022). Effects of land use and land cover change on ecosystem services in an arid desert-oasis ecotone along the Yellow River of China. *Ecological Engineering*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106512>
- Geobosques. (2021). *Bosque y pérdida de bosque*. <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>
- IIAP. (2019). SUELO Y CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LA TIERRA Roger. *Kemampuan Koneksi Matematis (Tinjauan Terhadap Pendekatan Pembelajaran Savi)*, 53(9), 1689–1699.
- INEI. (2020). PERU: Population estimates and projections by department, Province and District, 2018-2020. Special Bulletin N° 26. *National Institute of Statistics and Informatics*, 1–110. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf
- Jing, Q., He, J., Li, Y., Yang, X., Peng, Y., Wang, H., Yu, F., Wu, J., Gong, S., Che, H., & Zhang, X. (2023). Analysis of the spatiotemporal changes in global land cover from 2001 to 2020. *Science of The Total Environment*, 908, 168354. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168354>

- Katusiime, J., Schütt, B., & Mutai, N. (2023). The relationship of land tenure, land use and land cover changes in Lake Victoria basin. *Land Use Policy*, *126*, 106542. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2023.106542>
- Li, Z., Wu, W., Liu, X., Fath, B. D., Sun, H., Liu, X., Xiao, X., & Cao, J. (2017). Land use/cover change and regional climate change in an arid grassland ecosystem of Inner Mongolia, China. *Ecological Modelling*, *353*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.07.019>
- Loza, D. C. A., & Taype, H. I. (2021). Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú. *Uniciencia*, *35*(2), 27–45. <https://doi.org/10.15359/RU.35-2.3>
- Maquera Callo, E. A. (2020). *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el Departamento de Tacna, periodo 2007, 2012 y 2017*.
- Mendoza, C. M. E., Salas López, R., & Barboza Castillo, E. (2017). *Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú)*. <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/view/210/213>
- MINAM. (2014). Informe final del proyecto: Análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la comunidad andina. *Ministerio Del Ambiente*, *78*. <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>
- MINAM. (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. *Memoria Descriptiva*, *108*. <https://www.gob.pe/minam>
- MINAM. (2016). Instrumentos Técnico Normativos del Ordenamiento Territorial. *Ministerio Del Ambiente*, *1–478*. https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Instrumentos_Tecnicos_Normativos_OT.pdf
- Nené, A. J., Sansón, G. G., Mendoza, M. E., & De Asís Silva Bátiz, F. (2017). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico Central Mexicano. *Investigaciones Geográficas*, *2017*(94), 64–81. <https://doi.org/10.14350/RIG.56770>

- Oliva, M., Pérez, R., Salas, R., Gamarra, O., Leiva, S., Collazos, R., & Maicelo, J. (2017). Quantification of the tall grass area of the Gocta and Chinata microbasins and their potential as a carbon stock. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 233–241. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.06>
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2003.09.008>
- Purwanto, Latifah, S., Yonariza, Akhsani, F., Sofiana, E. I., & Ferdiansah, M. R. (2023). Land cover change assessment using random forest and CA markov from remote sensing images in the protected forest of South Malang, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101061. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2023.101061>
- Rincón, L. N. G. (2015). Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *Ingeniare*, 19, 127–136. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/INGENIARE.19.530>
- Rodríguez, J. L. L., Rodríguez, M. L., Quispe, A. C., Tarmeño, E. I. C., Tovar, F. D. U., Soto, H. L. H., Cruz, O. E. T., Rojas, J. M. P., Casas, M. B. S., Guardia, P. W. V., Gutiérrez, H. O. C., & Gutiérrez, M. M. C. (2021). Uso del suelo según índice de vegetación diferenciada normalizada, mediante imágenes satelitales, tambillo-Ayacucho, 2000-2014, Perú. *South Florida Journal of Development*, 2(3), 4912–4928. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-083>
- Salinas, W. E., Terrazas Ruiz, M., Mora Olivo, A., & Paredes Hernández, C. U. (2020). Análisis multitemporal de cambios de uso de la tierra en San Fernando, Tamaulipas, durante el periodo 1987 a 2017. *CienciaUAT*, 14(2), 160. <https://doi.org/10.29059/CIENCIAUAT.V14I2.1298>
- SENAMHI. (2020). Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional. In *Ministerio del Ambiente* (Vol. 53, Issue 9). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- SPDA. (2011). *Reconocen el Área de Conservación Privada Hierba Buena – Allpayacu, ubicada en la provincia de Bongará, departamento de Amazonas - Legislación*. <https://legislacionanp.org.pe/reconocen-el-area-de-conservacion-privada-hierba-buena-allpayacu-ubicada-en-la-provincia-de-bongara-departamento-de-amazonas/>

- Tobore, A., & Bamidele, S. (2022). Wetland change prediction of Ogun-River Basin, Nigeria: Application of cellular automata Markov and remote sensing techniques. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, 158–168. <https://doi.org/10.1016/J.WSEE.2022.11.001>
- Wang, Q., Zhang, Q., & Zhou, W. (2012). Grassland Coverage Changes and Analysis of the Driving Forces in Maqu County. *Physics Procedia*, 33, 1292–1297. <https://doi.org/10.1016/J.PHPRO.2012.05.213>
- Wang, Y., Chen, X., Gao, M., & Dong, J. (2022). The use of random forest to identify climate and human interference on vegetation coverage changes in southwest China. *Ecological Indicators*, 144, 109463. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.109463>
- Yang, X., Zheng, X. Q., & Lv, L. N. (2012). A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling*, 233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.03.011>
- Zhao, J. ;, Li, J. ;, Liu, Q. ;, Dong, Y. ;, Li, L. ;, Zhang, H., Zhao, J., Li, J., Liu, Q., Dong, Y., Li, L., & Zhang, H. (2023). Assessment of Forest Ecosystem Variations in the Lancang–Mekong Region by Remote Sensing from 2010 to 2020. *Sensors* 2023, Vol. 23, Page 9038, 23(22), 9038. <https://doi.org/10.3390/S23229038>
- Zorogastúa, C. P., Quiroz Guerra, R., & Garatuza Payán, J. (2011). Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura - Perú. *Ecología Aplicada*, 10(1), 13–22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34122069002>
- Zumaeta, L. D. L. (2019). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(3), 81–89. <https://doi.org/10.25127/UCNI.V2I3.607>

ANEXOS

Anexo 1. Puntos de clasificación

N°	ID	COBERTURA	ESTE	NORTE
1	1	Pajonal	185259.78	9360653.76
2	1	Pajonal	184593.26	9360576.42
3	1	Pajonal	184022.23	9360559.14
4	1	Pajonal	184506.64	9360171.96
5	1	Pajonal	184879.92	9360396.74
6	1	Pajonal	185338.87	9360109.79
7	1	Pajonal	185521.28	9359718.27
8	1	Pajonal	186229.44	9360255.66
9	1	Pajonal	186989.26	9360276.30
10	1	Pajonal	186896.81	9360666.32
11	1	Pajonal	186079.82	9359646.70
12	1	Pajonal	186260.26	9359015.94
13	1	Pajonal	187159.87	9359766.22
14	1	Pajonal	187617.36	9359496.37
15	1	Pajonal	187550.11	9359166.19
16	1	Pajonal	187749.31	9358356.70
17	1	Pajonal	188089.91	9359016.50
18	1	Pajonal	188552.33	9358281.27
19	1	Pajonal	188929.78	9358476.33
20	1	Pajonal	188479.77	9358696.42
21	1	Pajonal	189469.92	9358098.30
22	1	Pajonal	189752.53	9357770.64
23	1	Pajonal	190656.15	9357066.27
24	1	Pajonal	190834.64	9357292.32
25	1	Pajonal	190922.55	9356751.24
26	1	Pajonal	191283.20	9356121.13
27	1	Pajonal	191839.82	9355655.99
28	1	Pajonal	192120.41	9355176.43
29	1	Pajonal	192709.93	9354936.38
30	1	Pajonal	193237.11	9354713.23
31	1	Pajonal	193130.18	9354366.37
32	1	Pajonal	193776.52	9354076.99
33	1	Pajonal	193999.90	9353736.32
34	2	Tierra desnuda	193293.62	9351515.81
35	2	Tierra desnuda	193430.35	9351216.20
36	2	Tierra desnuda	193550.03	9350616.39
37	2	Tierra desnuda	192709.48	9350525.92
38	2	Tierra desnuda	190669.83	9350876.01
39	2	Tierra desnuda	187627.06	9350466.37
40	2	Tierra desnuda	187429.74	9351411.61
41	2	Tierra desnuda	187580.12	9350803.77
42	2	Tierra desnuda	187361.52	9350926.23

43	2	Tierra desnuda	186890.41	9350929.42
44	2	Tierra desnuda	187189.62	9351625.13
45	2	Tierra desnuda	186179.22	9351893.66
46	2	Tierra desnuda	186275.43	9352176.39
47	2	Tierra desnuda	185044.29	9354847.10
48	2	Tierra desnuda	185268.62	9354516.28
49	2	Tierra desnuda	184789.78	9356106.48
50	2	Tierra desnuda	183859.77	9355626.22
51	2	Tierra desnuda	185851.39	9355284.79
52	2	Tierra desnuda	184760.07	9355343.71
53	2	Tierra desnuda	187369.77	9353006.16
54	2	Tierra desnuda	187189.16	9354126.85
55	3	Pasto	191871.66	9352776.28
56	3	Pasto	192514.26	9353449.83
57	3	Pasto	191944.05	9353779.43
58	3	Pasto	191706.54	9353990.99
59	3	Pasto	191156.99	9354036.31
60	3	Pasto	190865.52	9355102.48
61	3	Pasto	189156.67	9356784.00
62	3	Pasto	187375.65	9356676.18
63	3	Pasto	187867.10	9357350.78
64	3	Pasto	186545.66	9358581.93
65	3	Pasto	184717.48	9358086.90
66	3	Pasto	183988.25	9359016.53
67	3	Pasto	184535.54	9358100.18
68	3	Pasto	185884.91	9357172.02
69	3	Pasto	186964.34	9353840.92
70	3	Pasto	186904.81	9354079.04
71	3	Pasto	186308.96	9354564.85
72	3	Pasto	185524.26	9350362.12
73	3	Pasto	185854.58	9352012.85
74	3	Pasto	186723.14	9355296.56
75	3	Pasto	184232.23	9356135.87
76	3	Pasto	185069.51	9353256.34
77	3	Pasto	189421.40	9354201.93
78	3	Pasto	188101.73	9354036.73
79	3	Pasto	187837.55	9353780.28
80	3	Pasto	187953.44	9353631.67
81	3	Pasto	187929.02	9355761.28
82	3	Pasto	183499.97	9356976.33
83	3	Pasto	187022.49	9356513.71
84	3	Pasto	188680.09	9353166.62
85	3	Pasto	188257.26	9350556.86
86	4	Bosque	187865.18	9360606.63
87	4	Bosque	187924.95	9360202.45
88	4	Bosque	188404.90	9360683.70

89	4	Bosque	188674.50	9360710.49
90	4	Bosque	188822.00	9360726.04
91	4	Bosque	188436.89	9360173.26
92	4	Bosque	189064.13	9360436.16
93	4	Bosque	188825.13	9359750.13
94	4	Bosque	189724.69	9360246.62
95	4	Bosque	189603.58	9360683.97
96	4	Bosque	190265.62	9360591.55
97	4	Bosque	189543.41	9359749.90
98	4	Bosque	191680.67	9359753.19
99	4	Bosque	192813.43	9359120.42
100	4	Bosque	189290.87	9359150.87
101	4	Bosque	189965.10	9359722.62
102	4	Bosque	190352.63	9359975.99
103	4	Bosque	191285.83	9360410.53
104	4	Bosque	190987.20	9359658.43
105	4	Bosque	190084.51	9358764.87
106	4	Bosque	191044.31	9359031.16
107	4	Bosque	192307.48	9360800.44
108	4	Bosque	191798.21	9360320.46
109	4	Bosque	192305.79	9360054.00
110	4	Bosque	193145.48	9360231.52
111	4	Bosque	193684.99	9360447.83
112	4	Bosque	194252.81	9360682.84
113	4	Bosque	190776.76	9358372.56
114	4	Bosque	192033.01	9359182.59
115	4	Bosque	193531.90	9359600.91
116	4	Bosque	194134.45	9359483.04
117	4	Bosque	194194.55	9359213.30
118	4	Bosque	193957.09	9359033.26
119	4	Bosque	193669.96	9358746.40
120	4	Bosque	193507.53	9358610.31
121	4	Bosque	193234.52	9358397.95
122	4	Bosque	192491.35	9358218.01
123	4	Bosque	190924.50	9357950.70
124	4	Bosque	191583.36	9358102.21
125	4	Bosque	191287.90	9357861.16
126	4	Bosque	191646.06	9357529.86
127	4	Bosque	191885.45	9357080.69
128	4	Bosque	192425.33	9357592.52
129	4	Bosque	193233.25	9357892.04
130	4	Bosque	194287.82	9358338.82
131	4	Bosque	194049.84	9357769.26
132	4	Bosque	194045.92	9357264.17
133	4	Bosque	193508.90	9356839.56
134	4	Bosque	192785.24	9356718.42

135	4	Bosque	193087.12	9356152.04
136	4	Bosque	193865.52	9356511.57
137	4	Bosque	194180.40	9355702.80
138	4	Bosque	193808.80	9355101.88
139	4	Bosque	194286.34	9354650.10
140	4	Bosque	194343.72	9354079.59
141	4	Bosque	184699.97	9359057.94
142	4	Bosque	183935.39	9359422.19
143	4	Bosque	185134.35	9358730.44
144	4	Bosque	185044.15	9358342.82
145	4	Bosque	185706.39	9358134.13
146	4	Bosque	186305.12	9357774.01
147	4	Bosque	186817.80	9357859.95
148	4	Bosque	187563.82	9358041.04
149	4	Bosque	187415.59	9357564.06
150	4	Bosque	188074.38	9357472.09
151	4	Bosque	188888.24	9357409.30
152	4	Bosque	188288.52	9356784.30
153	4	Bosque	188191.29	9356209.49
154	4	Bosque	188735.80	9356001.80
155	4	Bosque	188375.77	9355577.93
156	4	Bosque	188854.95	9355760.64
157	4	Bosque	189425.45	9356148.79
158	4	Bosque	189873.99	9356541.30
159	4	Bosque	189874.87	9356030.27
160	4	Bosque	190354.05	9355820.11
161	4	Bosque	188946.33	9355159.38
162	4	Bosque	189308.03	9355340.83
163	4	Bosque	189929.45	9355336.46
164	4	Bosque	189574.61	9355128.47
165	4	Bosque	189786.28	9354739.11
166	4	Bosque	191075.76	9354683.74
167	4	Bosque	191134.72	9354411.88
168	4	Bosque	190624.14	9354414.00
169	4	Bosque	189934.22	9354079.41
170	4	Bosque	190534.43	9353899.85
171	4	Bosque	191136.11	9354966.65
172	4	Bosque	191703.78	9354530.22
173	4	Bosque	191600.25	9353749.28
174	4	Bosque	192214.22	9354113.85
175	4	Bosque	192548.42	9353924.87
176	4	Bosque	192679.59	9353514.50
177	4	Bosque	191494.51	9352787.91
178	4	Bosque	192390.79	9352851.54
179	4	Bosque	192244.82	9352604.69
180	4	Bosque	191735.93	9352426.31

181	4	Bosque	192099.07	9352430.07
182	4	Bosque	192214.49	9352190.18
183	4	Bosque	191615.35	9351860.79
184	4	Bosque	192184.33	9351709.52
185	4	Bosque	191707.52	9351590.68
186	4	Bosque	192003.80	9351233.36
187	4	Bosque	191768.32	9350810.69
188	4	Bosque	191676.49	9350451.25
189	4	Bosque	191345.95	9350569.14
190	4	Bosque	187352.38	9355402.01
191	4	Bosque	183419.99	9355914.36
192	4	Bosque	193442.83	9357377.82
193	4	Bosque	183812.67	9354471.60
194	4	Bosque	183761.73	9354228.41
195	4	Bosque	183602.19	9353753.23
196	4	Bosque	183845.69	9353780.74
197	4	Bosque	184294.83	9353960.65
198	4	Bosque	183488.12	9352854.01
199	5	Tejido Urbano continuo	184985.80	9353058.20
200	5	Tejido Urbano continuo	184471.78	9352759.54
201	5	Tejido Urbano continuo	183903.13	9352641.01
202	5	Tejido Urbano continuo	183633.72	9352386.53
203	5	Tejido Urbano continuo	185209.56	9352575.45
204	5	Tejido Urbano continuo	183604.23	9351621.30
205	5	Tejido Urbano continuo	183849.85	9351975.05
206	5	Tejido Urbano continuo	184113.01	9351920.91
207	5	Tejido Urbano continuo	185465.84	9352194.18
208	5	Tejido Urbano continuo	184069.98	9351501.47
209	5	Tejido Urbano continuo	184507.57	9351264.47
210	5	Tejido Urbano continuo	186040.63	9351426.59
211	5	Tejido Urbano continuo	185959.67	9351650.23
212	5	Tejido Urbano continuo	185793.47	9351443.24
213	5	Tejido Urbano continuo	183485.28	9350573.64
214	5	Tejido Urbano continuo	185256.56	9350989.68
215	5	Tejido Urbano continuo	184984.38	9352011.69

Anexo 2. Script en lenguaje R para clasificación de cobertura y uso de suelo con RandomForest

#Tesis Land use/Land cover - 2002

#Tesisista: Sivmny Valeria Valqui Reina

#Clasificacion de Cobertura Corosha 2002

#Crear un proyecto nuevo en la carpeta donde se tiene todas las imágenes de reflectancia

#y el shape con las muestras

#Instalar las librerias

install.packages('raster')

install.packages('rgdal')

install.packages('dplyr')

install.packages('randomForest')

install.packages('caTools')

install.packages('caret')

#Cargar librerias

library(sp)

library(raster)

library(rgdal)

library(dplyr)

library(randomForest)

library(caTools)

library(caret)

#Cargar y plotear las imagenes

img <- stack('RT_B1.tif',

 'RT_B2.tif',

 'RT_B3.tif',

 'RT_B4.tif',

 'RT_B5.tif',

 'RT_B7.tif')

```
plotRGB(img, r = 3, g = 2, b = 1, stretch='lin')
```

#Reproyectar las imágenes para la zona de trabajo (solo si tus imagenes no estan proyectadas)

```
crs(img) #consulta de coordenadas de las imagenes
```

```
crs(img) <- CRS('+proj=utm +zone = 18 + south +datum=WGS84 + units = m +no_defs')
```

```
#reproyección a zona 18S
```

#Cargar el shape de las muestras

```
amostras <- readOGR('amostras2002.shp')
```

```
plot(amostras)
```

#Extraccion de datos de las imagenes

```
amostras.extract <- extract(img, amostras)
```

#Convertir la extraccion en una tabla

```
amostras.extract <- data.frame(amostras.extract)
```

#Añadir la columna del nombre de las clases

```
amostras.extract$Classe <- amostras$Classe
```

#Convertir a factor ya que la columna "Classe" se tiene texto

```
amostras.extract$Classe <- as.factor(amostras.extract$Classe)
```

```
head(amostras.extract)
```

```
View(amostras.extract)
```

#Separar datos de treino e validacion

```
posicoes <- sample.split(Y = amostras.extract$Classe, SplitRatio = 0.7)
```

```
train<- amostras.extract[posicoes,]
```

```
valid <- amostras.extract[posicoes==F,]
```

#Rodando modelo random forest

```
RF.model <- randomForest(Classe~., data = train, ntree = 200, mtry = 4)
```

```
pred.RF <- predict(RF.model, valid)
```

#Evaluando la matriz de confusión

```
cm.RF <- confusionMatrix(pred.RF, valid$Clase)
```

```
cm.RF
```

#Predicción con RF

```
class.RF <- predict(img, RF.model)
```

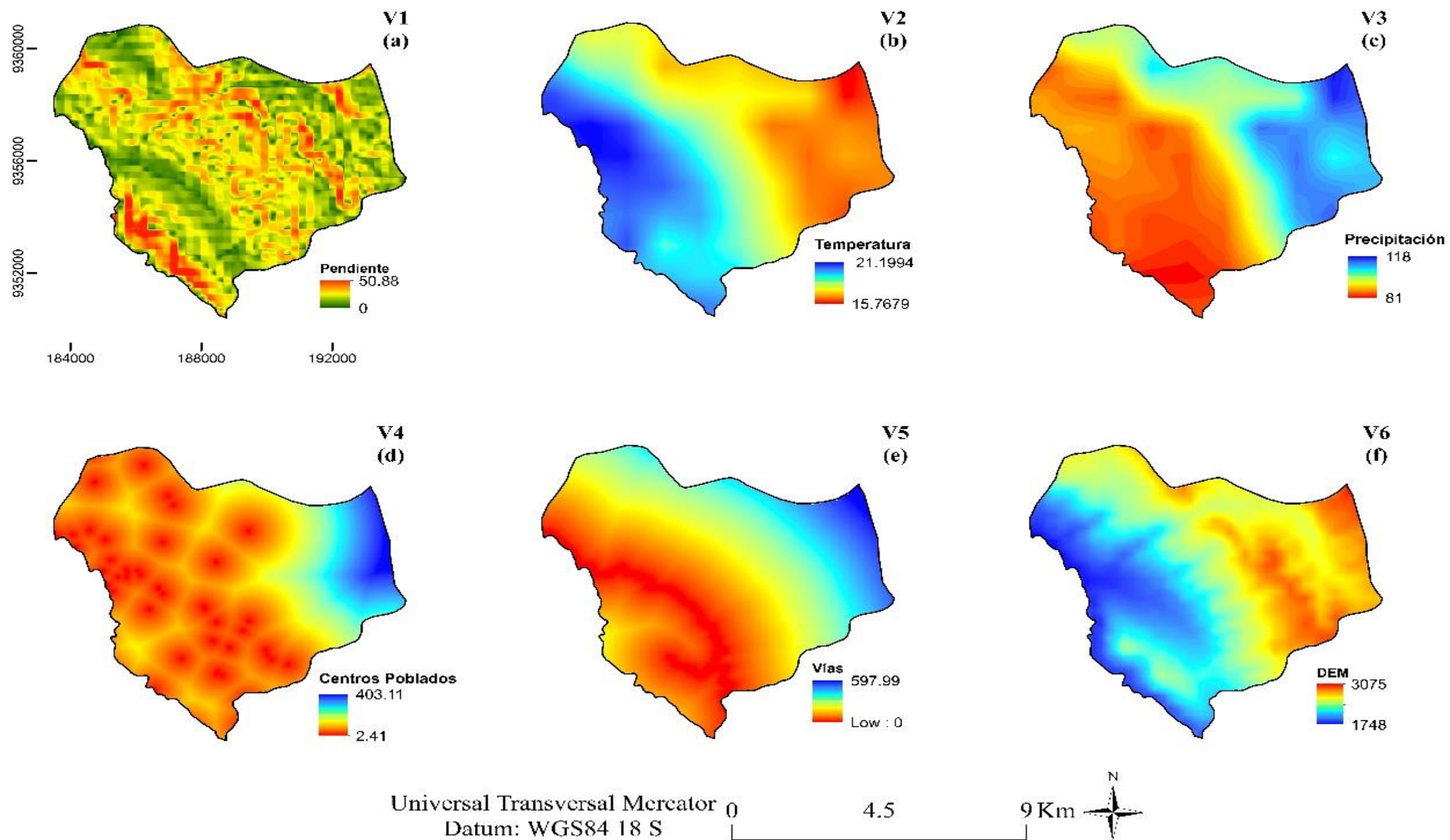
#Visualizacion de la clasificacion con imagen satelital de fondo

```
mapview(class.RF, col.regions = list('darkgreen','yellow', 'brown', 'blue')) #solo uso 3  
colores porque son 3 clases de cobertura
```

#Exportar la imagen clasificada

```
writeRaster(class.RF, filename = 'clasificacion2002.tif')
```

Anexo 3. Variables de incidencia en el cambio de cobertura y uso del suelo al año 2060



Anexo 4. Resultado de proyección futura con cadenas de Markov en el Software Terrset

Run Transition Sub-Model ?

MLP Neural Network SimWeight Logistic Regression

Minimum cells that transitioned from 2002 to 2022 : 444
Minimum cells that persisted from 2002 to 2022 : 5847

Sample size per class : (50% training / 50% testing)

MLP neural network parameters

Training parameters

Use automatic training
 Use dynamic learning rate

Start learning rate :
End learning rate :
Momentum factor :
Sigmoid constant a :
Hidden layer nodes :

Error monitoring

— Training RMS — Testing RMS

Iteration	Training RMS	Testing RMS
0	0.46	0.46
1000	0.38	0.38
2000	0.31	0.31
4000	0.29	0.29
6000	0.285	0.285
8000	0.282	0.282
10000	0.2818	0.2818

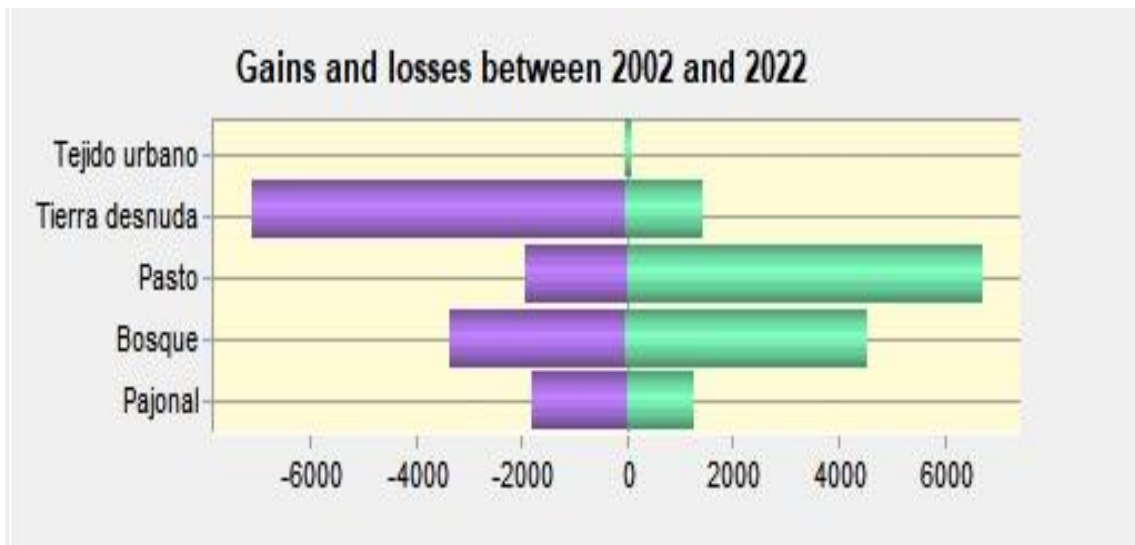
Stopping criteria

RMS :
Iterations :
Accuracy rate : %

Running statistics

Iterations : 10000 Learning rate : 0.0001
Training RMS : 0.2818 Testing RMS : 0.2818
Accuracy rate : 75.31% Skill measure : 0.7038

Anexo 5. Ganancias y Pérdidas de cobertura entre 2002 y 2022



Anexo 6. Flujograma del proceso metodológico

