

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ 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 DE LA COBERTURA VEGETAL DEL
DISTRITO DE QUINJALCA-AMAZONAS EN EL
PERÍODO 2000-2020 Y SU PROYECCIÓN FUTURA**

Autora: Bach. Lady Sopla Quiroz

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): Sopla Quiroz Lady
DNI N°: 73008069
Correo electrónico: 7300806932@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 de la cobertura vegetal del Distrito de Quinjalca-Amazonas en el periodo 2000 - 2020 y su proyección futura

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>) 0000-0001-9928-707X

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-Immunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
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, 25 / enero / 2024


Firma del autor 1

Firma del autor 2


Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mi mamá Silvia Esperanza Quiroz Santillan, que gracias a su valioso consejo y apoyo ha contribuido a mi formación profesional. Por ser mi inspiración de seguir adelante y nunca rendirme hasta alcanzar mis metas trazadas.

A mis primos Greysi y Jhoel por motivarme cada día a seguir adelante y amigos que han contribuido para lograr realizar esta investigación.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, M.Sc. Ing. Alex Joel Vergara Anticona, me brindó las facilidades para ejecutar esta tesis, su amistad, paciencia y tiempo. Estoy muy agradecida por cada una de sus recomendaciones y/o sugerencias que me ha brindado para el proyecto de tesis e informe, ya que han sido esenciales para el progreso de mi investigación.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en sus aulas.

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

PhD. 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



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (x)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Análisis de la cobertura vegetal del Distrito de Quinjaka - Amazonas en el periodo 2000 - 2020 y su proyección futura; del egresado Lady Soledad Quiroz 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, 05 de Octubre de 2023

Firma y nombre completo del Asesor
Alex Joel Vergara Anticona



JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Ing. Mg.Sc. Eli Pariente Mondragón

Presidente



Ing. Ms. Ingrid Araceli Cassana Huaman

Secretaria



Ing. Ms. Guillermo Idrogo Vásquez

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 de la cobertura vegetal del distrito de Quinjalca - Amazonas en el período 2000-2020 y su proyección futura

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Lady Sapla Quiroz

de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal

con correo electrónico institucional 7300806972@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 21 % 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.
- 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, 16 de noviembre 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 13 de diciembre del año 2023, siendo las 3:00 PM horas, el aspirante: Lady Soela Quiroz, asesorado por Ing. Mg. Sc. Alex Joel Vergara Anticona defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Análisis de la cobertura vegetal del Distrito de Quinjalca - Amazonas en el período 2000- 2020 y su proyección futura, 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: Ing. Mg. Sc. Elv Pasiente Mondragón

Secretario: Ing. Ms. Ingrid Araceli Cassana Huanan

Vocal: Ing. Ms. Guillermo Idrogo Vásquez

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 4:30 PM 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 GENERAL

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
INDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
2.1. Localización del área de estudio	19
2.2. Características descriptivas del área de estudio	19
2.3. Diseño metodológico	22
2.4. Materiales, equipos y programas	22
2.5. Desarrollo metodológico.....	23
2.6. Análisis de datos	27
III. RESULTADOS	29
3.1. Identificación de coberturas bajo la clasificación de Corine Land Cover	29
3.2. Análisis de cobertura vegetal durante los años 2000, 2010 y 2020	29
3.3. Evaluación de la exactitud	36
3.3.1. Matriz de confusión.....	36
3.3.2. Matriz de transición y tasa de cambios de cobertura vegetal.....	37
3.4. Proyección de la cobertura vegetal	39
3.4.1. Transición de cobertura vegetal.....	39
3.4.2. Factores impulsores para el cambio de cobertura vegetal	39
3.4.3. Aplicación del modelo Perceptrón Multicapa (MLP)	40

3.4.4. Validación de cambios de cobertura.....	41
3.4.5. Simulación de la cobertura vegetal para los años 2035 y 2050.....	42
IV. DISCUSIÓN	47
V. CONCLUSIONES	51
VI. RECOMENDACIONES.....	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Material, equipo y software.	22
Tabla 2. Imagen satelital utilizada para el análisis de cobertura vegetal.	23
Tabla 3. Matriz de tabulación cruzada.	25
Tabla 4. Matriz de confusión.	27
Tabla 5. Valoración del coeficiente Kappa.	28
Tabla 6. Clases de cobertura identificadas para el área de estudio.	29
Tabla 7. Áreas de cobertura vegetal para el año 2000.	30
Tabla 8. Áreas de cobertura vegetal para el año 2010.	32
Tabla 9. Áreas de cobertura vegetal para el año 2020.	34
Tabla 10. Áreas de cobertura vegetal para los años 2000 y 2020.	36
Tabla 11. Matriz de confusión del mapa del año 2020.	37
Tabla 12. Matriz de transición del periodo 2000-2010.	37
Tabla 13. Matriz de transición del periodo 2010-2020.	38
Tabla 14. Evaluación de variables basado en el valor V y p de Cramer.	40
Tabla 15. Estadísticas resumidas de validación obtenidas de Validate para la referencia y simulada cobertura vegetal 2020.	41
Tabla 16. Áreas de cobertura vegetal para el año 2035.	42
Tabla 17. Áreas de cobertura vegetal para el año 2050.	44
Tabla 18. Estadísticas de área de cobertura vegetal prevista para los años 2035 y 2050.	46
Tabla 19. Estructura de la leyenda Corine Land Cover adaptada para Perú.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Quinjalca.	21
Figura 2. Distribución de cobertura vegetal año 2000.....	30
Figura 3. Mapa de cobertura vegetal del año 2000.....	31
Figura 4. Distribución de cobertura vegetal año 2010.....	32
Figura 5. Mapa de cobertura vegetal del año 2010.....	33
Figura 6. Distribución de cobertura vegetal año 2020.....	34
Figura 7. Mapa de cobertura vegetal del año 2020.....	35
Figura 8. Ganancia y pérdidas de cobertura vegetal 2000 – 2010.....	39
Figura 9. Perceptrón multicapa (MLP).....	40
Figura 10. Distribución de cobertura vegetal 2030.	42
Figura 11. Mapa de cobertura vegetal del año 2035.....	43
Figura 12. Distribución de cobertura vegetal año 2050.....	44
Figura 13. Mapa de cobertura vegetal del año 2050.....	45
Figura 14. Proyección de cobertura vegetal 2035-2050.	46
Figura 15. Bosque denso alto (BDA).	60
Figura 16. Mosaico de pastos y cultivos (MPC).....	60
Figura 17. Arbustal (AR).....	61
Figura 18. Pajonales en la parte alta del distrito	61
Figura 19. Tejido urbano continuo - Distrito Quinjalca- (TUC).	62
Figura 20. Reforestación con especies exóticas.	62
Figura 21. Áreas georreferenciadas de la cobertura vegetal en el distrito.....	63
Figura 22. Gráfico de barras multitemporal.	66
Figura 23. Variables de incidencia en el cambio de cobertura vegetal.	67
Figura 24. Metodología y flujograma desarrollado.	68
Figura 25. Códigos de clasificación supervisada mediante imágenes satelitales en la plataforma GEE.	69

RESUMEN

La conversión permanente de los bosques primarios en tierras agrícolas, pastos o zonas urbanas a gran escala en el distrito de Quinjalca, afectan los ecosistemas debido a la gran pérdida de flora y fauna silvestre. Esta investigación tuvo como objetivos determinar la cobertura vegetal mediante imágenes satelitales durante el período 2000 – 2020 y generar un modelo para proyectar a futuro la cobertura vegetal del distrito de Quinjalca, región Amazonas para los años 2035 y 2050. Se realizó una clasificación supervisada con el algoritmo de Random forest incorporada en la plataforma Google Earth Engine (GEE) para detectar cambios de cobertura vegetal, utilizando imágenes satelitales de Landsat del periodo 2000, 2010 y 2020. Se clasificó cinco clases de cobertura vegetal: Bosque denso alto (BDA), Mosaico de pastos y cultivos (MPC), Herbazal/pajonal (HP), Arbustal (AR) y Tejido urbano continuo (TUC). Los mapas generados presentaron una exactitud global de 85 % y un índice de kappa de 0.81. La tendencia futura del cambio de cobertura vegetal se modeló utilizando cadenas de Markov en Terrset; se incorporó cuatro variables impulsoras: distancia de carreteras, centros poblados, Modelo digital de elevación y pendiente. Obteniendo un índice de kappa de la predicción de 83.65 % y la tasa de precisión de la prueba Perceptrón Multicapa (MLP) de 82.52 %. Los resultados de la simulación muestran incremento de Mosaico de pastos y cultivos de 1 746.24 hectáreas a 2 098.58 hectáreas entre 2035 y 2050 y se reducirán 153.94 hectáreas de bosque denso alto en 2050.

Palabras claves: Cobertura vegetal, Cadenas de Markov, Perceptrón Multicapa (MLP).

ABSTRACT

The permanent conversion of primary forests to agricultural land, pastures or large-scale urban areas in the district of Quinjalca affects ecosystems due to the loss of flora and fauna. The objectives of this research were to determine the vegetation cover using satellite images during the period 2000 - 2020 and to generate a model to project the future vegetation cover of the Quinjalca district, Amazonas region for the years 2035 and 2050. A supervised classification was performed with the Random forest algorithm incorporated in the Google Earth Engine (GEE) platform to detect changes in vegetation cover, using Landsat satellite images from 2000, 2010 and 2020. Five land cover classes were classified: High Dense Forest (HDF), Mosaic of Pasture and Crop (MPC), Grassland (HP), Shrubland (AR) and Continuous Urban Fabric (UCT). The maps generated presented an overall accuracy of 85 % and a kappa index of 0.81. The future trend of vegetation cover change was modeled using Markov chains in Terrset; four driving variables were incorporated: road distance, population centers, digital elevation model and slope. Obtaining a kappa index of the prediction of 83.65 % and the accuracy rate of the Multilayer Perceptron Test (MLP) of 82.52 %. The simulation results show an increase of Mosaic of pastures and crops from 1,746.24 hectares to 2,098.58 hectares between 2035 and 2035.

Key words: vegetation cover, Markov chain, Multilayer Perceptron (MLP)

I. INTRODUCCIÓN

La cobertura vegetal se define como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre; incluye diferentes biomásas con diferentes características topográficas y ambientales, desde pastizales hasta áreas forestales naturales. De igual manera, llegan a incluirse cubiertas vegetales, como las tierras agrícolas, que logran ser la resultante de la actividad humana (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015). Al mismo tiempo, la vegetación juega un papel importante en el mantenimiento del suelo, la regulación de la atmósfera y el mantenimiento de la estabilidad del ecosistema (Fan et al., 2012; X. Zhang et al., 2022). La influencia de la actividad humana se considera como el principal impulsador del cambio de la cubierta vegetal (Yang et al., 2022).

La evaluación de la deforestación y la reforestación, así como la comprensión de los factores sociales y económicos que contribuyen al cambio a escala local, regional y mundial, son posibles gracias a la investigación de los cambios en la cubierta terrestre (Ruiz et al., 2014). Es preciso señalar que las actividades como la agricultura, la urbanización, la pérdida de humedales, la deforestación, está provocando un rápido cambio de la cubierta forestal (Seyam et al., 2023). Sin embargo, los cambios son dinámicos y dependen de muchos factores, como de condiciones políticas, económicas y sociales (Leija et al., 2020). Sin embargo Jat et al., (2008), indican que no es suficiente solo analizar y monitorear las variaciones de la cobertura terrestre, dado que llega a ser de importancia evaluar la tendencia y su duración prolongada de cambio del territorio y las consecuencias que se produzcan en los próximos años, con la finalidad de planificar estrategias para asegurar el buen uso de la tierra y otros recursos.

La teledetección ha tenido un papel cada vez importante en el mapeo de diferentes clases de vegetación para una gestión sostenible de estos recursos (Reid & Castka, 2023). La técnica de teledetección ha sido ampliamente utilizada en estudios de detección de cambios ambientales (Esmail et al., 2016); por ejemplo, en los ámbitos de la calidad del agua (Fichot et al., 2016), la deforestación (Lynch et al., 2013), la erosión del suelo (Sepuru & Dube, 2018), el monitoreo del suelo (Dai et al., 2022), el vertido de aguas residuales (Zhang et al., 2021), biodiversidad (Petrou et al., 2015) y otros. El uso de la teledetección para el mapeo de la vegetación se ha expandido aún más rápido en los últimos años debido a la amplia gama de características espectrales, espaciales y temporales de sensores remotos (Orynbaikyzy et al., 2019). Los datos de imágenes

satelitales brindan una herramienta potencial que ayudan a mapear los cambios en la cobertura terrestre. A partir de este punto, se pueden definir los niveles de degradación de la tierra. Las investigaciones para mapear y monitorear de manera confiable las condiciones cambiantes de la tierra y la degradación a través de los cambios en la superficie terrestre y la vegetación siguen siendo un desafío (Vogt et al., 2011; Xie et al., 2019). La clasificación supervisada es uno de los métodos más utilizados a razón de medir la evolución de la vegetación a gran escala, partiendo de la identificación del lugar a ser estudiado, considerando que es factible identificar en la imagen aquellos rasgos que son adecuadamente representativos de cada categoría en la leyenda al tener un conocimiento más profundo del tema de interés (Chuvieco, 2006).

A través del tiempo diversos investigadores han realizado estudios enfocados en el monitoreo de la cubierta vegetal. A nivel internacional han desarrollado, diversos estudios con fotografías captadas con sensores remotos para detectar cambios en la cubierta vegetal, tal es el caso de Sandoval-García et al., (2021), con representaciones visuales del satélite Landsat 8 y Sentinel 2A del 2017, para el análisis en la microcuenca Mixteca Alta Oaxaqueña sobre cómo llega a emplearse el suelo y las variaciones de vegetación entre 1995 y 2016. El estudio mostro que el proceso de cambio un incremento de 6.6 % durante el 1995 al 2016 de la cobertura forestal. En Brasil, Miranda et al., (2018), estudiaron los cambios de cobertura terrestre y su proyección al 2030, en el humedal del Pantanal brasileño utilizando imágenes del sensor MODIS de los años 2000, 2008 y 2015 para el análisis de NDVI. En Egipto, Esmail et al., (2016), utilizaron técnicas de teledetección/GIS para monitorear el cambio de la cobertura terrestre con imágenes Landsat de 1987 y 2015 aplicando métodos de clasificación supervisada en la zona costera del delta del Nilo, de igual manera en el mismo país, Shalaby & Tateishi, (2007), evaluaron lo cambios de cobertura vegetal en la costa noroccidental de Egipto, con datos Landsat de 1987 y 2001. El estudio demostró, que las variaciones sobre la cobertura del suelo provocan la desintegración de la vegetación y el anegamiento. A nivel nacional, en Nor Yauyos Cochabamba, en los Andes centrales de Perú, Pizarro et al., (2022), utilizaron la plataforma de Google Earth Engine (GEE) enfocado en cartografiar clases de cobertura de suelo, con imágenes de Landsat 8 y algoritmos de aprendizaje automático (ML) durante el año 2018. En Puno, Loza-Del-Carpio & Taype-Huamán, (2021), analizaron el cambio espacio-temporal de la cubierta vegetal perteneciente a la localidad altoandina de Cabana durante 2000, 2005,2010 y 2016 y evaluó los tipos de vegetación con imágenes

multitemporales Landsat. Según los datos NDVI de la ciudad de Iquitos de 1999 a 2018, Palacios et al., (2020 a), analizaron la condición actual y tendencia futura del cambio de la cubierta vegetal de toda la región. En la región Amazonas, Zumaeta, (2021), evaluó la situación actual y una simulación de escenario futuro de los cambios de la cubierta vegetal en la Microcuenca Yuyac durante 1998-2018 con cálculo de pendiente, red hídrica, distancia a carretera, centros poblado y altitud. Salas et al., (2018), investigaron las variaciones sobre la cobertura vegetal del ACP Tilacancha durante los últimos 32 años utilizando datos Landsat 5 y 8. El estudio evidencia que la degradación de los bosques alcanzó un grado superior por el desarrollo de la agricultura y ganadería y requiere de manera inmediata establecer estrategias para el desarrollo sostenible del recurso.

Debido a la importancia que tienen los estudios de análisis de cobertura vegetal empleando técnicas de teledetección y sabiendo que el distrito de Quinjalca carece de estudios con base técnica y científica, se planteó la presente investigación a fin de atender la problemática suscitada ¿Cuál es el índice de pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Quinjalca, región Amazonas durante el período 2000 – 2020?, para lo cual se tiene, como objetivo principal: Analizar la cobertura vegetal del distrito de Quinjalca durante el período 2000- 2020 y su proyección futura y los siguientes objetivos específicos: a) Determinar la cobertura vegetal mediante imágenes satelitales durante el período 2000 – 2020; b) Generar un modelo para proyectar a futuro la cobertura vegetal del distrito de Quinjalca, región Amazonas para los años 2035 y 2050

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Localización del área de estudio

La zona de estudio corresponde al distrito de Quinjalca, abarca un área igual a 82.50 km² y logra estar conformada con 17 centros poblados. Ubicada en las coordenadas geográficas latitud: 6° 5' 30" Sur y longitud 77° 40' 21". Limitando con los distritos de Asunción, Olleros, Granada, Molinopampa, Chilibuén y Sonche (Municipalidad de Quinjalca, 2019).

2.2. Características descriptivas del área de estudio

a. Características climáticas

Sus dos variaciones climáticas son templadas y algo húmedos, con una evapotranspiración potencial que oscila en 85,50 y 99,70; índices pluviales o hídricos que oscilan en 20% y el 40%. Ambiente templado extremadamente húmedo y algo frío, con una evapotranspiración potencial que oscila en 71,20 y 85,50 con índices pluviales o hídricos superiores al 100%. La temperatura puede variar de 10° a 18° con una media anual igual a 12° en las zonas más elevadas, mientras que puede alcanzar un máximo igual a 25° para regiones bajas y una media igual a 18° en zonas bajas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2018)

b. Características biológicas

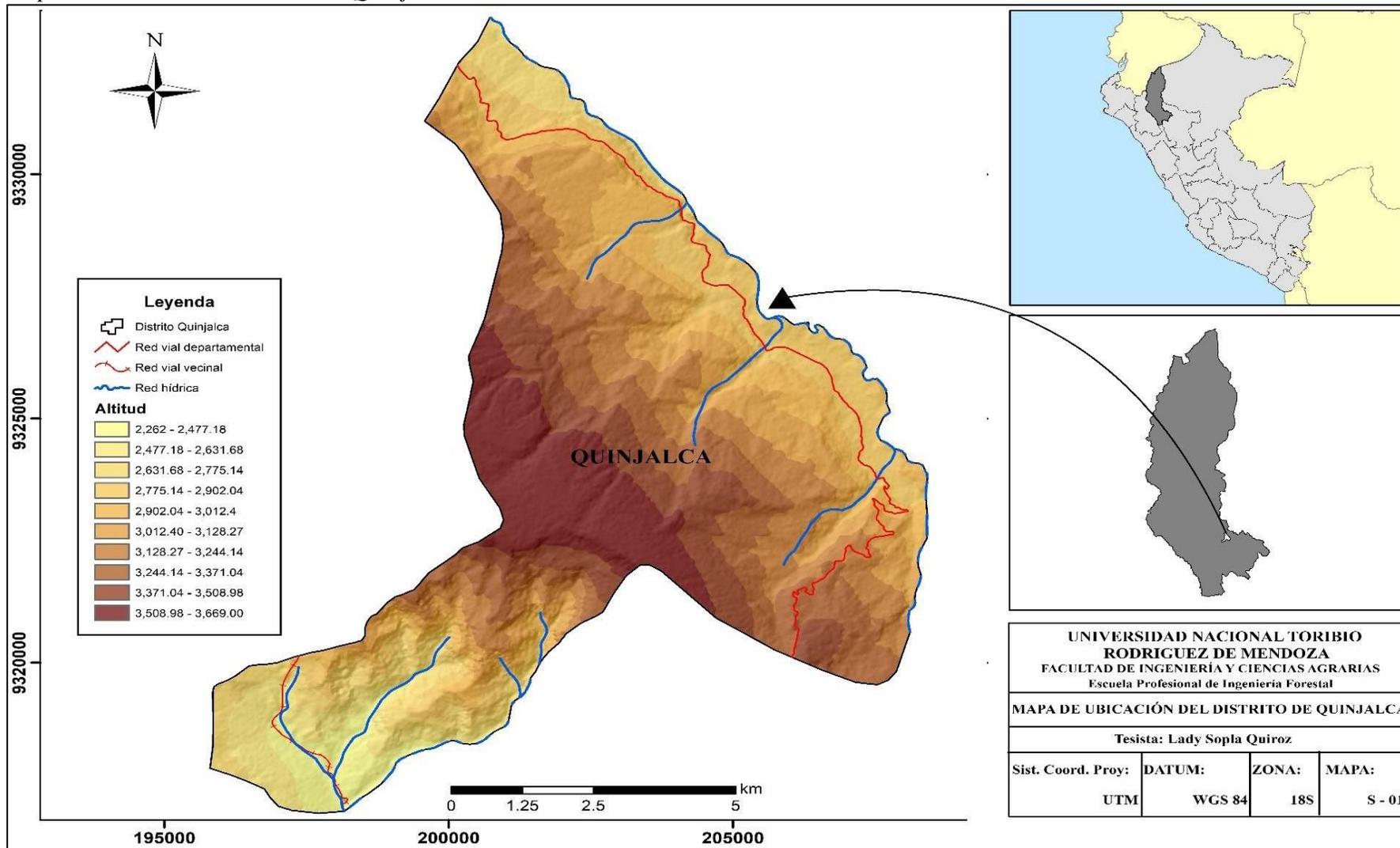
El distrito presenta vegetación nativa de los cuales se encuentran en las zonas altas, como individuos de *Polylepis* sp. (Queñual), *Cinchona pubescens* (Cascarilla). Las grandes extensiones de pajonales forman los ojos de agua, que forman quebradas en las zonas bajas del distrito, donde se encuentran las cuencas del Utcubamba y Imaza. Asimismo, se registró la presencia de *Xenogalux loweryi* (Lechucita bigotona), que es una de las aves endémicas de Perú y se encuentra en un rango restringido del bosque nuboso de la cordillera de los Andes en las regiones de Amazonas y San Martín. Actualmente tienden a encontrarse dentro del rango de amenaza vulnerable según el IUCN y en peligro de extinción por el Decreto Supremo N°004-2014-MINAGRI; las deforestaciones amenazan su hábitat, incendios forestales, actividades agrícolas y la construcción de carretas (Asociación Ecosistemas Andinos [ECOAN], 2023).

c. Características sociales

- En gran parte de su extensión predomina áreas de cultivos agrícolas principalmente como maíz, legumbres y papa.
- La ganadería es una de las principales amenazas del distrito, siendo fuentes para deforestaciones, incluso amenaza a especies herbáceas/pajonales por lo que es considerado un mejor forraje para el ganado vacuno. Es por esto que muchos pobladores, queman pajonales con la finalidad de que el ganado vacuno tenga mejor alimentación.
- Los pobladores aprovechan la temporada seca a fin de quemar zonas en las partes altas donde no llega a aprovecharse la agricultura, a razón de convertirla en lugares de pastura para los ganados o a fin de “llamar a la lluvia”. Sin embargo, muchos de estos incendios afectan a los pajonales.

Figura 1

Mapa de ubicación del distrito de Quinjalca.



2.3. Diseño metodológico

El diseño fue no experimental, en razón de que no llega a manipularse ninguna variable. Los datos de campo fueron colectados de manera directa para el análisis de cambios de cobertura vegetal en el año 2000, 2010 y 2020, estos mismos llegaron a tomarse en un solo tiempo (Yupanqui,2021).

2.4. Materiales, equipos y programas

Con el fin de desarrollar el trabajo de investigación respecto al análisis de la cobertura vegetal en Quinjalca – Amazonas durante el periodo 2000-2020 y su proyección futura, se ha utilizado la siguiente información:

Tabla 1

Material, equipo y software.

Categoría	Descripción
Datos cartográficos	- Imagen satelital
	- Modelo de Elevación Aster Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) de 30 m de resolución espacial, del MINAM (Ministerio del Ambiente)
	- División política distrital, provincial, regional y departamental del Perú elaborada por el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática)
Software	- Red vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
	- Google Earth Pro (version 7.3.0.3832)
	- Software ArcGIS (version 10.8)
	- Windows de Microsoft Office 2023
Equipos y materiales	- Laptops Lenovo Core i7 - 16GB RAM
	- Software TerrSet
	- GPS Garmin
	- Cámara digital
	- Libretas de campo

2.5. Desarrollo metodológico

Se llegaron a seleccionar cada imagen satelital, posterior a ello lograron ser procesadas por medio de la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La evaluación de las exactitudes temáticas y las intensidades de las variaciones lograron evaluarse en diferente período. Posteriormente, en ambientes SIG, llegaron a identificarse cada zona de pérdida e incremento de cobertura vegetal en el área sometida a evaluación. Por medio de la Figura 23 se indica el procedimiento metodológico por el que se obtuvieron los cambios multitemporales de cobertura vegetal en el distrito de Quinjalca.

A. Adquisición de imágenes satelitales

Respecto a la elaboración de mapas con cobertura vegetal llegaron a emplearse tres imágenes del satélite Landsat, con resolución espacial de 30 m. Cada imagen satelital corregida atmosféricamente logró ser obtenidas por medio del catálogo de datos de Google Earth Engine (GEE) <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat>, se utilizaron las imágenes disponibles de Landsat TM/OLI-TIRS + reflectancia superficial (SR) con cobertura de nubes inferior al 30% obtenidas entre 2000, 2010 y 2020. Estas imágenes se exportaron desde la nube informática de GEE debido a su fácil y rápido acceso a los datos satelitales (Gorelick et al., 2017).

Tabla 2

Imagen satelital utilizada para el análisis de cobertura vegetal.

Satélite/Sensor	Fecha	Resolución espacial	Resolución espectral
Landsat 5 TM	29/08/2000	30 m	1, 2, 3, 4, 5 y 7
	12/08/2010		
Landsat 8 OLI	2/08/2020	30 m	2, 3, 4, 5, 6 y 7

B. Pre procesamiento de la imagen satelital

Teniendo en cuenta que existen interferencias que afectan la calidad de las imágenes satelitales, se aplican técnicas de mejora de la calidad de imagen y la reducción del ruido y alcanzar mejoras en la nitidez de la imagen para una mayor precisión, se aplicó una corrección atmosférica en la plataforma de GEE (Gómez-Camperos et al., 2022).

C. Determinación de clases de cobertura

Llegó a aplicarse la metodología CLC (Corine Land Cover) adecuada para Perú, teniendo por fin efectuar la clasificación y análisis de las variaciones de cobertura vegetal del distrito de Quinjalca (MINAM, 2015).

D. Clasificación de imágenes satelitales

La clasificación supervisada de la cobertura vegetal del distrito Quinjalca en el periodo 2000 - 2020 se realizó en la plataforma de GEE utilizando Random Forest (RF), un método algorítmico que determina la clase final utilizando votos mayoritarios a fin de evaluar las combinaciones de predictores del árbol de decisión (Breiman, 2001). Los resultados de la clasificación, llegaron a exportarse por medio de Google Drive en formato ráster. Los datos lograron descargarse para realizar un tratamiento digital. Las imágenes se evaluaron visualmente en RGB junto con mapas clasificados para cada año de análisis con el fin de alcanzar mejoras en el mapa clasificado.

E. Tasas de cambio y matriz de transición

La evaluación del cambio de cobertura vegetal del distrito de Quinjalca se realizó mediante la matriz de transición; método propuesto a razón de efectuar el análisis del mapa de cobertura vegetal (Pontius et al., 2004), teniendo de finalidad efectuar la detección de las variaciones de mayor significancia de diversos cambios de cubierta vegetal. Cada matriz logra representarse por medio de una tabla donde sus filas tienden a mostrar la categorización del tiempo 1 y cada columna muestra la categorización del tiempo 2 efectuando la comparativa de las superficies de cada mapa de cobertura vegetal que tienden a analizarse; cada celda de las diagonales principales muestran las superficies de cobertura vegetal que permanecen estables en el periodo mismo, por otro lado, las celdas restantes muestran las superficies que han tenido cambios y hacia qué categorías han sido dirigidos dichos cambios; permitiendo el cálculo de la tasa anual de los cambios.

Se calcularon las tasas de deforestación con la siguiente ecuación (1) utilizada por la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (1996):

$$TC = \left[\left(\frac{S^2}{S^1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100$$

Siendo S^1 y S^2 las superficies de uso del suelo en las fechas inicial y final, respectivamente, y t es la tasa de cambio. La duración del tiempo evaluado se representa mediante la variable n . En cambio, si t es mayor que cero, se produce un aumento de la cobertura; un valor negativo de t denota una pérdida de cobertura.

Tabla 3

Matriz de tabulación cruzada.

Tiempo 1	Tiempo 2				Total tiempo 1 (Pi+)	Pérdidas (Lij)
	Categoría 1	Categoría 2	...	Categoría j		
Categoría 1	P11	P12	...	P1j	P1+	P1+ -P11
Categoría 2	P21	P22	...	P2j	P2+	P 1+ -P22
...
Categoría i	Pi1	Pi2	...	Pij	Pi+	P i+ -Pij
Total tiempo 2 (P+J)	P+1	P+2	...	P+j	1	
Ganancia (Gij)	P+1 - P11	P+2 - P22	...	P+j - Pij		

Nota: Adquirido de (Gutiérrez et al., 2016), adaptada de (Pontius et. al, 2004)

F. Proyección de la cobertura vegetal

La proyección de la cobertura vegetal de área de estudio, se realizó aplicando un modelo basado en Cadenas de Markov y células autómatas con el cual se calculó la probabilidad de que una cierta cobertura vegetal cambie (Ghalehtimouri et al., 2022), para la proyección futura se tomó como base los mapas de área boscosa de los años 2000 y 2010, ejecutadas en el software Terrset (Gonzalez, 2020) considerando un intervalo de 15 años (2035 y 2050).

- **Conversión de formato ráster a ASCII**

Mediante el software ArcMap10.8, permite convertir el formato ráster a ASCII. Finalmente; importarlo al software TerrSet.

- **Importación de los datos a IDRISI TAIGA**

La información se importa al software Idrisi en formato ASCII (“asc”), por lo que somos redirigidos al módulo de archivos, importación, formato específico del software, formato Esri y Arcraster. Se abre una ventana para cargar datos de 2000, 2010 y 2020 y cambiarlos al formato ráster (“rst”).

- **Variables de influencia en el cambio de cobertura vegetal**

Las variables de incidencia de cambio de cobertura vegetal; se mide la eficiencia con la prueba V de Cramer, una prueba estadística no paramétrica en el software Terrset. Se considera las variables con valores V de Cramer superior a 0.15. Cuando el valor se acerca a 1, mayor será el poder explicativo de la variable (Eastman, 2016; Purswani et al., 2022).

- **Análisis de la simulación mediante Land Change Modeler (LCM)**

Land Change Modeler (LCM) de Terrset incluye tres metodologías para la simulación de cobertura vegetal. Una de las más utilizadas en la teledetección el Perceptrón Multicapa (MLP) que analiza el potencial de transición para preparar predicciones de la distribución futura de la cobertura vegetal. MLP es un tipo de red neuronal artificial (RNA) que requiere una intervención mínima del usuario. Es sólido para manejar múltiples transiciones y se utiliza ampliamente en el análisis de cambios de usos de la tierra (Kafy et al., 2020). Las transiciones de cobertura vegetal resultantes se introducen en un submodelo de transición para obtener resultados más precisos del MLP (Eastman, 2016). Tanto las transiciones de cobertura vegetal (2000-2010) y las variables se utilizaron para generar mapas de potencial de transición. En función de las principales transiciones de cobertura vegetal que se produjeron en el área de estudio; el MLP se ejecutó para analizar su confiabilidad con los cambios de cobertura vegetal entre los mapas (2000-2010) y las variables; basado en submodelos de transición. Para calcular el error de entrenamiento (Training RMS) y ajustar el peso; MPL construye una red neuronal con base a pesos (Testing RMS). Al ajustar los pesos, el error RMS disminuye y la tasa de precisión aumenta, que debería alcanzar al menos el 80% (Megahed et al., 2015).

- **Validación del modelo de proyección**

Para la precisión del modelo de simulación a futuro se aplicó la herramienta validate disponible en Terrset para el cálculo del coeficiente de Kappa. Según Vinayak et al., (2021); si los valores de k son superiores a 0.75 para cada concordancia del índice de kappa, entonces la estadística K se considera precisa. Se deduce que el modelo puede predecir de manera efectiva en el cambio futuro de cobertura vegetal.

2.6. Análisis de datos

La información obtenida en el estudio, en primer lugar, se analizará mediante estadística descriptiva con lo cual se organizó los datos en tablas y gráficos. En segunda instancia se empleó el análisis estadístico de exactitud de cada uno de los mapas de los años 2000, 2010 y 2020; para lo cual, llegó a elaborarse la matriz de confusión a fin de efectuar el cálculo de la precisión del productor (indicador de error de omisión), la precisión del usuario (indicador de error de comisión).

Tabla 4

Matriz de confusión.

		Resultados de referencia					TOTAL	Exactitud usuario	Error comisión
		Referencia 1	Referencia 2	...	Referencia n				
Resultados de la clasificación	Clase 1	a₁₁	a ₁₂	...	a _{1n}	a₁₊	a ₁₁ /a ₁₊	1- a ₁₁ /a ₁₊	
	Clase 2	a ₂₁	a₂₂	...	a _{2n}	a₂₊	a ₂₂ /a ₂₊	1- a ₂₂ /a ₂₊	
	
	Clase n	a _{n1}	a _{n2}	...	a_{nn}	a_{n+}	a _{nn} /a _{n+}	1- a _{nn} /a _{n+}	
	TOTAL	a₊₁	a₊₂	...	a_{n+}	n			
	Exactitud productor	a ₁₁ /a ₊₁	a ₂₂ /a ₊₂	...	a _{nn} /a _{n+}				
Error omisión	1-a ₁₁ /a ₊₁	1-a ₂₂ /a ₊₂	...	1-a _{nn} /a _{n+}					

Nota: Adquirido de (MINAM, 2014) ; Pontius et al., 2004).

Posteriormente para la validación de la clasificación de la cobertura vegetal de cada año contemplado se realizó mediante el Índice (k) (Landis & Koch, 1977), siendo la medida estadística de las diferencias entre la exactitud que tiende a generarse por el software y la exactitud por una categorización visual ya sea en campo o por medio del uso de la imagen de resolución alta (MINAM, 2014) la expresión matemática de este índice es la siguiente:

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

Donde:

k : Índice de Kappa

Po: Número de aciertos/Número total de clases

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

Pe: Cálculo generado desde la matriz de confusión

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

El valor de "k" se interpretó tras evaluar el índice Kappa (k). Esto permitió medir el grado de concordancia de la clasificación y determinar si se encontraba dentro de un rango ideal.

Tabla 5

Valoración del coeficiente Kappa.

Valor de "K"	Fuerza de concordancia
< 0.200	Pobre
0.210 - 0.400	Débil
0.410 - 0.600	Moderada
0.610 - 0.800	Buena
0.810 - 1.00	Muy buena

Nota: Adquirido de (Landis y Koch, 1977; MINAM 2014)

III. RESULTADOS

3.1. Identificación de coberturas bajo la clasificación de Corine Land Cover

En el distrito de Quinjalca se logró identificar cinco tipos de clases de cobertura: Bosque denso alto (BDA), Herbazal/Pajonal (HP), Mosaico de pastos y cultivos (MPC), Arbustos (AR), Tejido urbano continuo (TUC), siendo clasificados por medio del Nivel III de la metodología Corine Land Cover adaptado para Perú.

Tabla 6

Clases de cobertura identificadas para 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	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de pastos y cultivos
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques 3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.1.3. Bosque denso alto 3.3.1. Herbazal / Pajonal 3.3.2. Arbustal

Nota: Adquirido de la metodología Corine Land Cover (MINAM, 2015)

3.2. Análisis de cobertura vegetal durante los años 2000, 2010 y 2020

Los mapas de la cubierta vegetal de los períodos se elaboraron procesando las imágenes de satélite, como se explica en los siguientes puntos:

a) Mapa de cobertura vegetal para el año 2000

Del proceso de clasificación supervisada se identificó cinco clases de cobertura vegetal, considerando las siguientes: En la figura 2, el distrito presenta: Bosque denso alto (BDA) 2 740.70 ha (33.22 %), Mosaico de pastos y cultivos (MPC) 913.76 ha (11.08 %), Herbazal/pajonal (HP) 1 979.10 ha (23.99 %), Arbustal (AR) 2 605.63 ha (31.58 %) y Tejido urbano continuo (TUC) 10.82 ha (0.13 %).

Tabla 7*Áreas de cobertura vegetal para el año 2000.*

N°	Clases	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque denso alto	2740.70	33.22%
2	Mosaico de pastos y cultivos	913.76	11.08%
3	Herbazal/Pajonal	1979.10	23.99%
4	Arbustal	2605.63	31.58%
5	Tejido urbano continuo	10.82	0.13%
Total		8250.01	100.0%

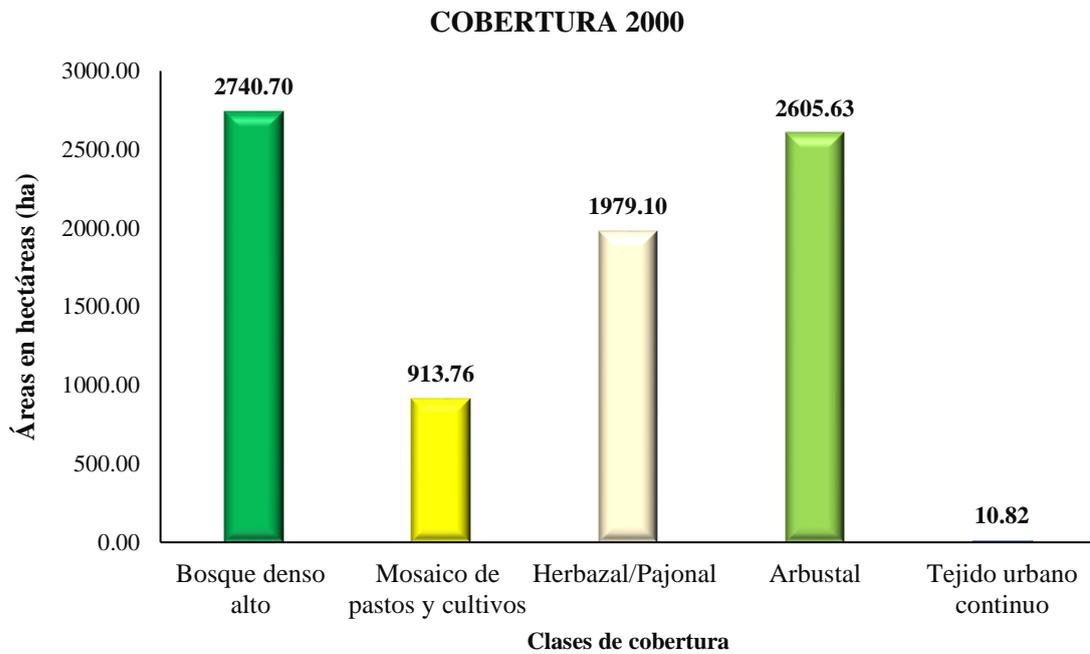
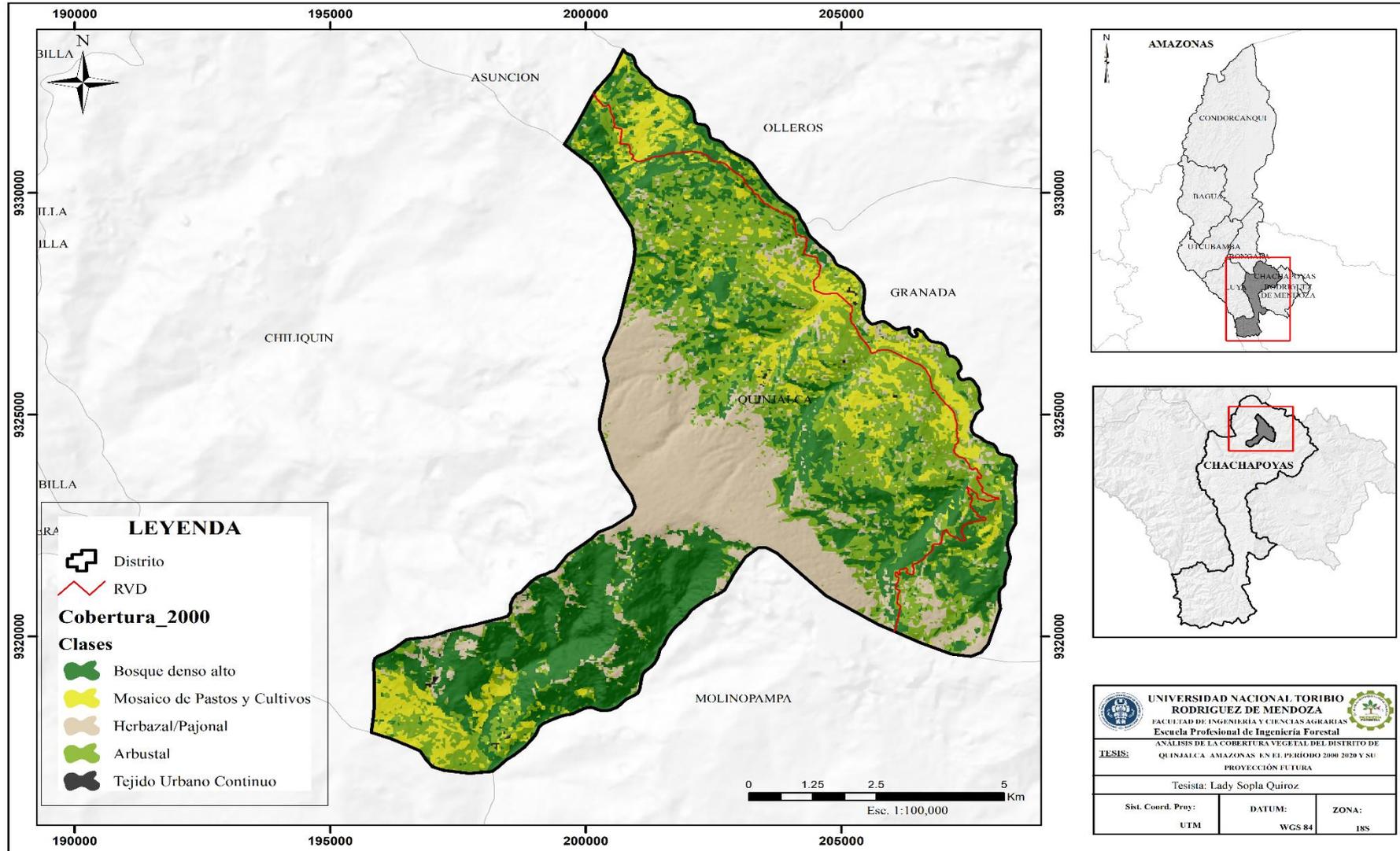
Figura 2*Distribución de cobertura vegetal año 2000.*

Figura 3

Mapa de cobertura vegetal del año 2000.



b) Mapa de cobertura vegetal para el año 2010

Por medio de la figura 4, el distrito presenta: Bosque denso alto (BDA) con 2 004.253 ha (24.29%), Mosaico de pastos y cultivos (MPC) 1 408.988 ha (17.08 %), Herbazal/pajonal (HP) 2 657.121 ha (32.21 %), Arbustal (AR) 2 159.779 ha (26.18 %) y Tejido urbano continuo (TUC) 19.87 ha (0.24 %).

Tabla 8

Áreas de cobertura vegetal para el año 2010.

N°	Clases	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque denso alto	2004.253	24.29%
2	Mosaico de pastos y cultivos	1408.988	17.08%
3	Herbazal/Pajonal	2657.121	32.21%
4	Arbustal	2159.779	26.18%
5	Tejido Urbano Continuo	19.87	0.24%
Total		8250.01	100.0%

Figura 4

Distribución de cobertura vegetal año 2010.

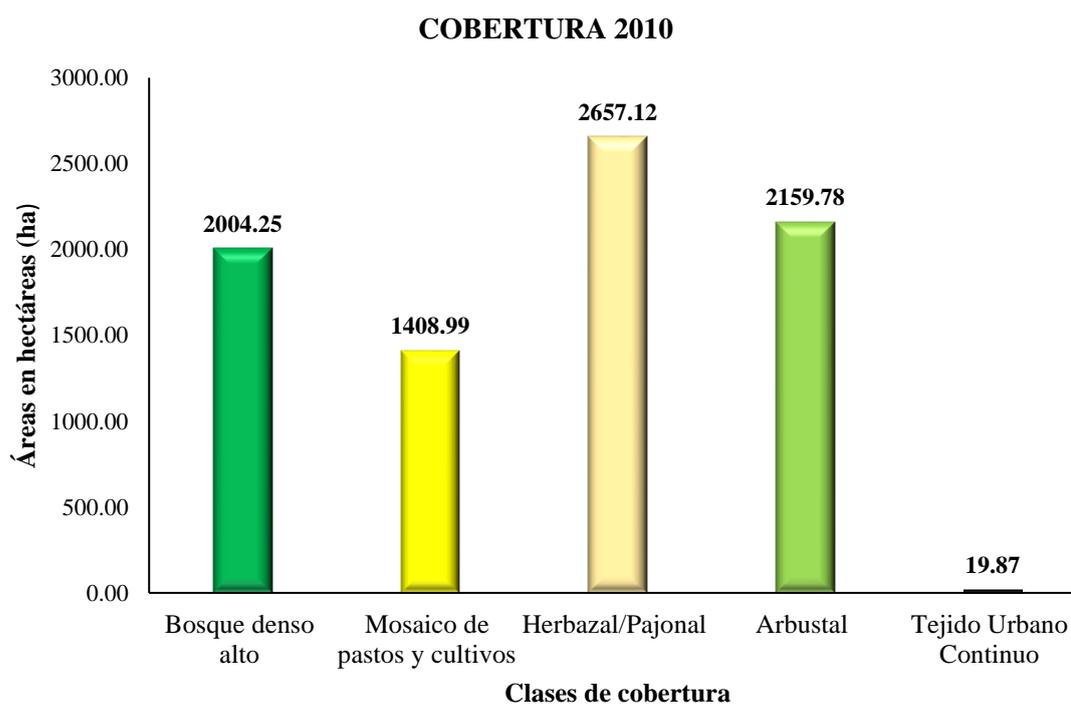
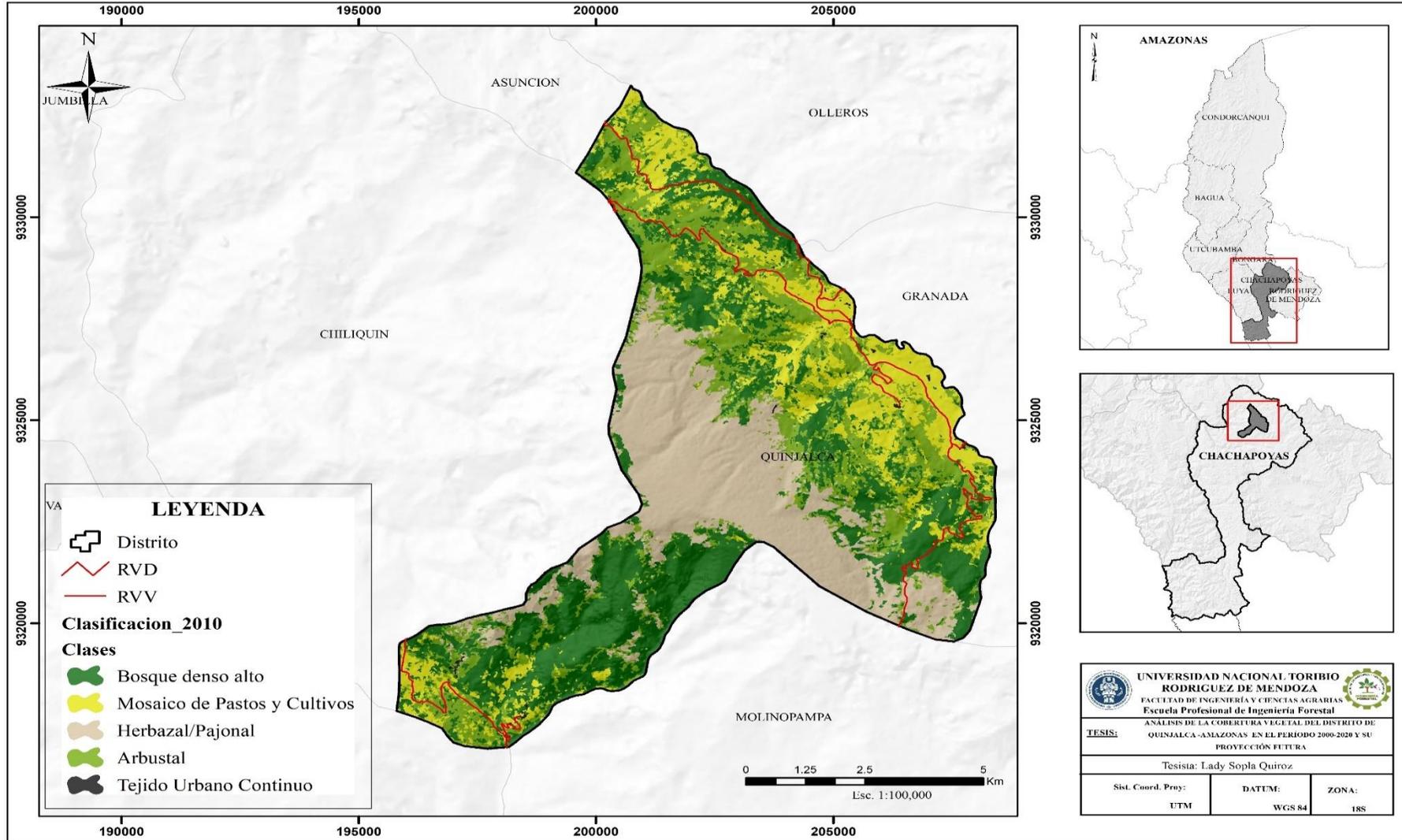


Figura 5

Mapa de cobertura vegetal del año 2010.



c) Mapa de cobertura vegetal para el año 2020

Por medio de la figura 6, el distrito presenta: Bosque denso alto (BDA) con 1 681.50 ha (20.68 %), Mosaico de pastos y cultivos (MPC) 1 456.67 ha (17.53 %), Herbazal/pajonal (HP) 1 656.02 ha (20.04 %), Arbustal (AR) 3 420.91 ha (41.51 %) y Tejido urbano continuo (TUC) 34.90 ha (0.23 %).

Tabla 9

Áreas de cobertura vegetal para el año 2020.

N°	Clases	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque denso alto	1681.50	20.68%
2	Mosaico de pastos y cultivos	1456.67	17.53%
3	Herbazal/Pajonal	1656.02	20.04%
4	Arbustal	3420.91	41.51%
5	Tejido Urbano Continuo	34.90	0.23%
Total		8250.01	100.0%

Figura 6

Distribución de cobertura vegetal año 2020.

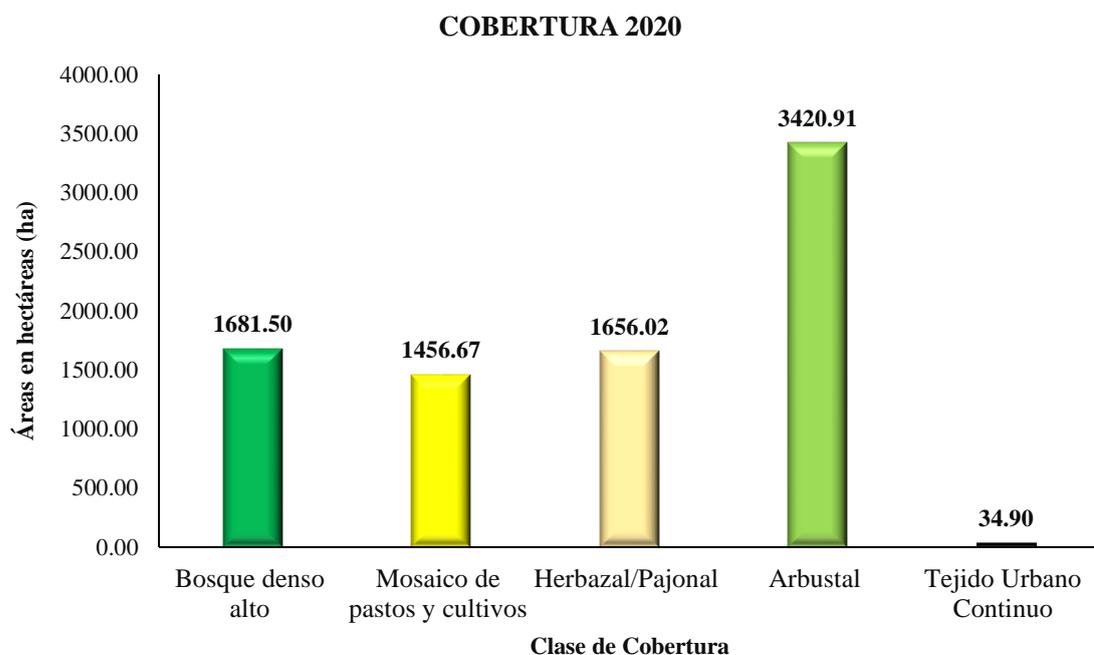


Figura 7

Mapa de cobertura vegetal del año 2020.

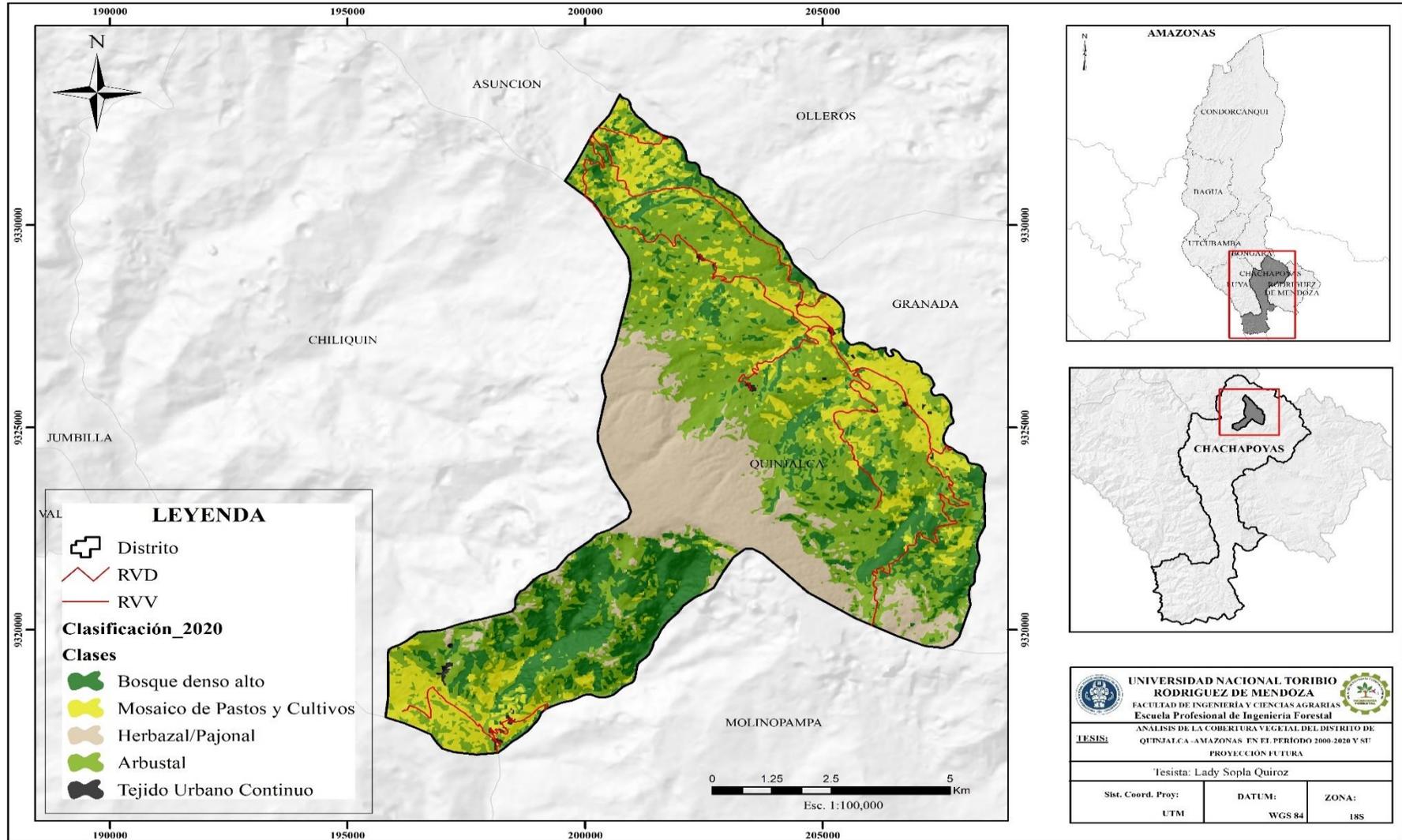


Tabla 10*Áreas de cobertura vegetal para los años 2000 y 2020.*

N°	Clases	Cobertura 2000		Cobertura 2020		Ganancia/ Pérdida	
		Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
1	BDA	2740.70	33.22	1681.50	20.68	1059.21	38.31
2	MPC	913.76	11.08	1456.67	17.53	542.91	19.64
3	HP	1979.10	23.99	1656.02	20.04	323.08	11.69
4	AR	2605.63	31.58	3420.91	41.51	815.29	29.49
5	TUC	10.82	0.13	34.90	0.23	24.08	0.87

3.3. Evaluación de la exactitud

3.3.1. Matriz de confusión

Se tomaron 226 puntos (Figura 18), para la realización de la matriz de error efectuando la comparativa de información de cada mapa resultante de las clasificaciones supervisadas y la información real (Tabla 11). En ese sentido, respecto a los 61 puntos que llegaron a asignarse para la categoría de Bosque denso alto: 47 puntos tuvieron coincidencia, 14 puntos distribuidos en otras clases; de los 48 puntos muestreados para Mosaico de pastos y cultivos, 43 puntos tuvieron coincidencia, 5 puntos tienden a pertenecer a la clase de Tejido urbano continuo; respecto a los 47 puntos de muestra para la categorización de Herbazal/pajonal, llegaron a obtenerse 47 puntos con coincidencia; respecto a los 48 puntos para la categoría Arbustal se tuvo 33 coincidencias, 15 puntos en otras clases; los 22 puntos de muestra para la categorización de Tejido urbano continuo, llegaron a obtenerse 22 puntos de coincidencia. La exactitud global estimada es igual a 0.85 y el índice de Kappa llegó a ser igual a 0.81, se considera niveles de fuerza de concordancia muy buena.

Tabla 11*Matriz de confusión del mapa del año 2020.*

		Clases de referencia					Total	Exactitud Usuario	Error comisión
		BDA	MPC	HP	AR	TUC			
Resultados de la clasificación	BDA	47	1	0	12	1	61	0.77	0.23
	MPC	0	43	0	0	5	48	0.90	0.10
	HP	0	0	47	0	0	47	1	0.0
	AR	3	6	3	33	3	48	0.7	0.31
	TUC	0	0	0	0	22	22	1	0.00
	Total	50	50	50	45	31	226		
	Exactitud Productor	0.94	0.86	0.94	0.73	0.71		E. Global: 0.85	
Error Omisión	0.06	0.14	0.06	0.27	0.29		Kappa: 0.81		

3.3.2. Matriz de transición y tasa de cambios de cobertura vegetal

Se efectuó la medición del cambio de cubierta vegetal mediante la matriz de transición y tasa de cambio, los resultados se presentan a continuación.

Tabla 12*Matriz de transición del periodo 2000-2010.*

2000	2010					Total 2000	Tasa	
	BDA	MPC	HP	AR	TUC		de cambio (%)	Pérdida (Li)
BDA	1523.44	718.41	247.16	165.47	2.64	2657.12	0.31	1133.68
MPC	249.85	607.38	77.70	470.51	3.55	1408.99	6.34	801.61
HP	339.53	348.67	1468.29	2.99	0.29	2159.78	-0.87	691.49
AR	623.89	922.67	183.43	271.74	2.53	2004.25	-7.55	1732.52
TUC	3.99	8.49	2.52	3.06	1.80	19.87	-7.60	18.06
Total 2010	2740.70	2605.63	1979.10	913.76	10.82			
Ganancia (Gj)	1217.26	1998.25	510.81	642.03	9.01		8250.01	

Por medio de la tabla 12, se muestra la matriz de transición que resultó de la intersección de los mapas de los años 2000 y 2010 del distrito de Quinjalca. Se utilizó cinco categorías de cobertura vegetal: Bosque denso alto (1), Mosaico de pastos y cultivos (2), Herbazal/Pajonal (3), Arbustales (4), Tejido Urbano Continuo (5). En ese sentido, se

evidencio que de 2 657.12 ha, que tenían el bosque denso alto en el 2000, en año 2010 lograron 1 523.44 ha, mantenerse persistentes, 718.41 ha pertenecieron la clase de Mosaico de pastos y cultivos, 247.16 ha de Bosque denso alto a Herbazal/pajonal, 165.47 ha a arbustal y 2.64 pertenecieron a la clase de Tejidos urbanos continuos; de 1 408.99 ha de Mosaico de pastos y cultivos durante el año 2000, respecto al año 2010, se mantienen persistentes 607.38 ha, pasaron 249.85 ha a Bosque denso alto, 77.70 ha a Herbazal/pajonal, 470.51 ha a Arbustal y 3.55 ha a Tejido urbano continuo; de 2 159.78 ha de Arbustal/Pajonal respecto al año 2000, consecuente al año 2010, se mantienen persistentes 1 468.29 ha, pasaron 339.53 ha a Bosque denso alto, 348.67 ha a Mosaico de pastos y cultivos, 2.99 ha a Arbustal y 0.29 ha a Tejido urbano continuo; de 2 004.25 ha de Arbustal en el año 2000, para el año 2010, se mantuvieron persistentes 271.74 ha, pasaron 623.89 ha a bosque denso alto, 922.67 ha a Mosaico de pastos y cultivos, 183.43 ha a Herbazal/Pajonal y 2.53 ha a Tejido urbano continuo; de 19.87 ha de tejido urbano continuo respecto al año 2000, consecuente al año 2010, llegaron a mantenerse persistentes 1.80 ha, pasaron 3.99 ha a bosque denso alto, 8.49 ha a áreas a Mosaico de pastos y cultivos, 2.52 ha a Herbazal/pajonal y 3.06 ha a Arbustal.

La tasa de cambio para estas dos fechas, se evidencia que la clase de Herbazal/pajonal perdió un 0.87 %, Arbustal 7.55 % y Tejido urbano continuo un 7.60% de su cobertura total. Asimismo, la clase Bosque denso alto y Mosaico de pastos y cultivos incrementaron su cobertura en 0.31 % y 6.34 % respectivamente.

Tabla 13

Matriz de transición del periodo 2010-2020.

2010	2020					Total 2010	Tasa de cambio (%)	Pérdida (Li)
	BDA	MPC	HP	AR	TUC			
BDA	1020.9	287.56	151.14	1189.20	8.32	2657.12	-4.47	1636.22
MPC	164.75	714.39	1.61	515.76	12.48	1408.99	0.33	694.59
HP	162.90	8.53	1423.55	564.37	0.43	2159.78	-2.62	736.23
AR	331.06	438.36	79.54	1146.50	8.80	2004.25	5.49	857.76
TUC	1.89	7.84	0.17	5.10	4.87	19.87	2.95	15.00
Total 2020	1681.5	0	1456.68	1656.02	3420.91	34.90		
Ganancia (Gj)	660.60	1169.12	1504.88	2231.71	26.58		8250.01	

En la tabla 13, se indica los cambios realizados de cubierta vegetal en el periodo (2010 - 2020), siendo las principales variaciones las que se acontecieron en dicho periodo el aumento de Tejido urbano continuo (TUC) con 26.58 hectáreas (19.87 ha respecto al 2008 y 34.90 ha al 2018), por otro lado, la cobertura de Arbustal (AR) llegó a generar una crecida considerablemente alta igual a 2 231.71 ha. En el transcurso de dicho periodo, el Bosque denso alto (BDA) tuvo una mayor pérdida respecto al periodo anterior puesto a que en el periodo 2, existió la pérdida de 1 636.22 hectáreas.

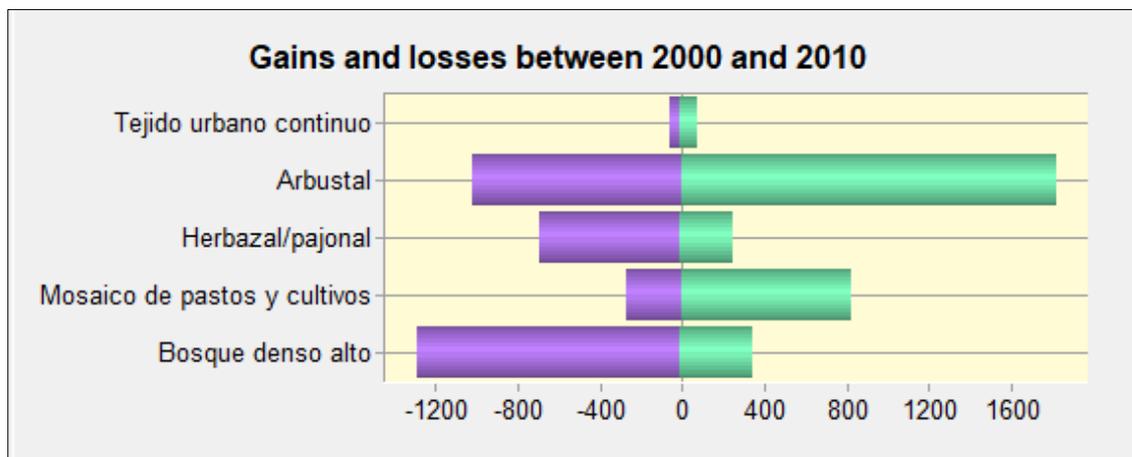
3.4. Proyección de la cobertura vegetal

3.4.1. Transición de cobertura vegetal

Se obtuvo la transición de coberturas, el cambio en hectáreas para cada clase de cobertura durante periodo de transición (2000-2010). Se cuantificaron las ganancias y pérdidas netas para cada categoría de cobertura vegetal.

Figura 8

Ganancia y pérdidas de cobertura vegetal 2000 – 2010.



3.4.2. Factores impulsores para el cambio de cobertura vegetal

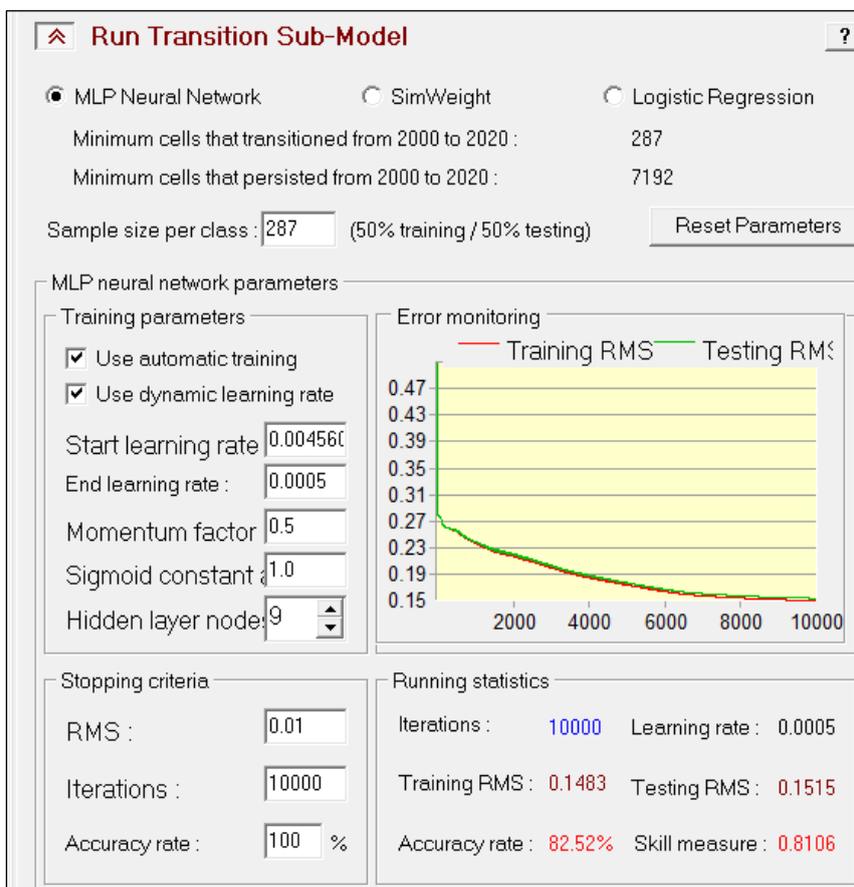
Se consideró las variables significativas con valores a 0.15, de acuerdo a la eficiencia de la prueba V de Cramer para ser integradas en el Perceptrón Multicapa (MLP). Se detalla a continuación:

Tabla 14*Evaluación de variables basado en el valor V y p de Cramer.*

Nº	Variables	V de Cramer	Valor p
1	Distancia de vías	0.2887	0.000
2	Distancia centros poblados	0.1444	0.000
3	Pendiente	0.1708	0.000
4	Modelo digital de elevación (DEM)	0.3574	0.000

3.4.3. Aplicación del modelo Perceptrón Multicapa (MLP)

Después de 10.000 interacciones de los resultados del entrenamiento y la interacción de variables, se obtuvo una tasa de precisión del 82.52 % para los cambios de cobertura vegetal entre 2000 - 2010; indicando una tasa de precisión es eficiente para análisis posteriores. Por último, los mapas de potencial de transición producidos se utilizaron para predecir los cambios de cobertura vegetal para los años 2035 y 2050.

Figura 9*Perceptrón multicapa (MLP).*

3.4.4. Validación de cambios de cobertura

La validación fue realizada con el mapa de referencia y simulados del 2020 con la herramienta “validate”, utilizando el coeficiente de kappa (K) para medir su precisión y realizar una simulación para los años 2035 y 2050, estos resultados se muestran a continuación:

Tabla 15

Estadísticas resumidas de validación obtenidas de Validate para la referencia y simulada cobertura vegetal 2020.

Información de asignación	Información de cantidad		
	No[n]	Media[m]	Perfecto[p]
Perfecto[P(x)]	P(n) = 0.5695	P(m) = 0.9786	P(p) = 1.0000
Estrato perfecto [K(x)]	K(n) = 0.5695	K(m) = 0.9786	K(p) = 1.0000
Cuadrícula media [M(x)]	M(n) = 0.5024	M(m) = 0.9021	M(p) = 0.8958
Estrato medio [H(x)]	H(n) = 0.1667	H(m) = 0.4012	H(p) = 0.4013
No[N(x)]	N(n) = 0.1667	N(m) = 0.4012	N(p) = 0.4013
Probabilidad de acuerdo		0,1667	
Cantidad de acuerdo		0,2345	
Acuerdo Estratos		0.0000	
Acuerdo celda de cuadrícula		0.5009	
Estrato de cuadrícula de desacuerdo		0,0765	
Estratos de desacuerdo		0,0000	
Cantidad en desacuerdo		0,0214	
Índice de acuerdo Kappa con la capacidad de especificar con precisión la cantidad y la localización para predecir cambios de cobertura vegetal 2020			
Estadística	Índice		
K no	0.8825		
K localización	0.8675		
K localización Estratos	0.8675		
K estándar	0.8365		

En la tabla 15 se presenta la validación de los cambios de cobertura proyectada, donde se aprecia que el valor del índice Kappa obtenido se encuentran superior a 0.82 lo que indica un nivel de precisión satisfactorio.

3.4.5. Simulación de la cobertura vegetal para los años 2035 y 2050

Se obtuvo los siguientes los mapas de cobertura vegetal del distrito de Quinjalca mediante el modelo de cadena de Markov-células autómatas para los años 2035 y 2050.

A) Mapa de cobertura vegetal para el año 2035

Por medio de la figura 10, el distrito presenta: Bosque denso alto (BDA) con 1 350.72 ha (16.37 %), Mosaico de pastos y cultivos (MPC) 1 746.24 ha (21.17 %), Herbazal/pajonal (HP) 1 607.86 ha (19.49 %), Arbustal (AR) 3465.69 ha (42.01 %) y Tejido urbano continuo (TUC) 79.50 ha (0.96 %).

Tabla 16

Áreas de cobertura vegetal para el año 2035.

N°	Clases	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque denso alto	1350.72	16.37%
2	Mosaico de pastos y cultivos	1746.24	21.17%
3	Herbazal/Pajonal	1607.86	19.49%
4	Arbustal	3465.69	42.01%
5	Tejido urbano continuo	79.50	0.96%
Total		8250.01	100.00%

Figura 10

Distribución de cobertura vegetal 2030.

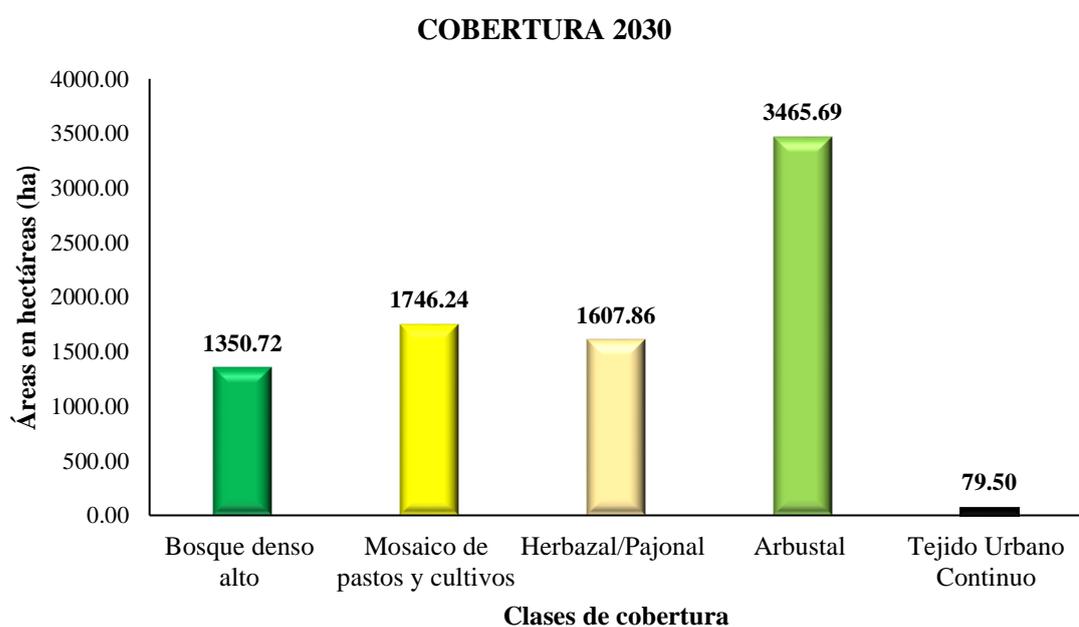
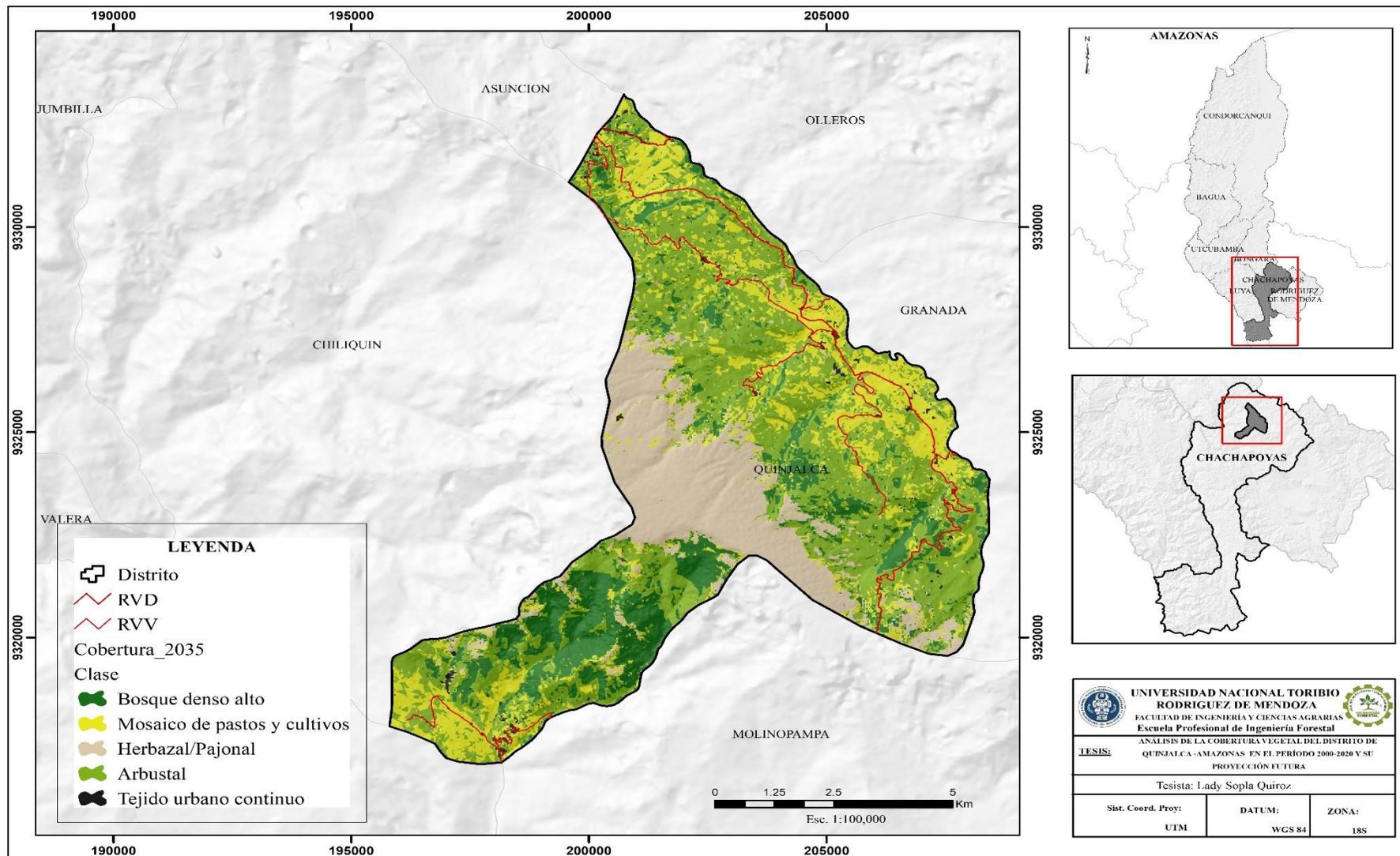


Figura 11

Mapa de cobertura vegetal del año 2035.



B) Mapa de cobertura vegetal para el año 2050

Por medio de la figura 12, el distrito presenta: Bosque denso alto (BDA) con 1 197.78 ha (14.52 %), Mosaico de pastos y cultivos (MPC) 2 098.58 ha (25.44 %), Herbazal/pajonal (HP) 1 482.78 ha (17.97 %), Arbustal (AR) 3 399.99 ha (41.21 %) y Tejido urbano continuo (TUC) 79.88 ha (0.86 %).

Tabla 17

Áreas de cobertura vegetal para el año 2050.

N°	Clases	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque denso alto	1197.78	14.52%
2	Mosaico de pastos y cultivos	2098.58	25.44%
3	Herbazal/Pajonal	1482.78	17.97%
4	Arbustal	3399.99	41.21%
5	Tejido urbano continuo	79.88	0.86%
Total		8250.01	100.00%

Figura 12

Distribución de cobertura vegetal año 2050.

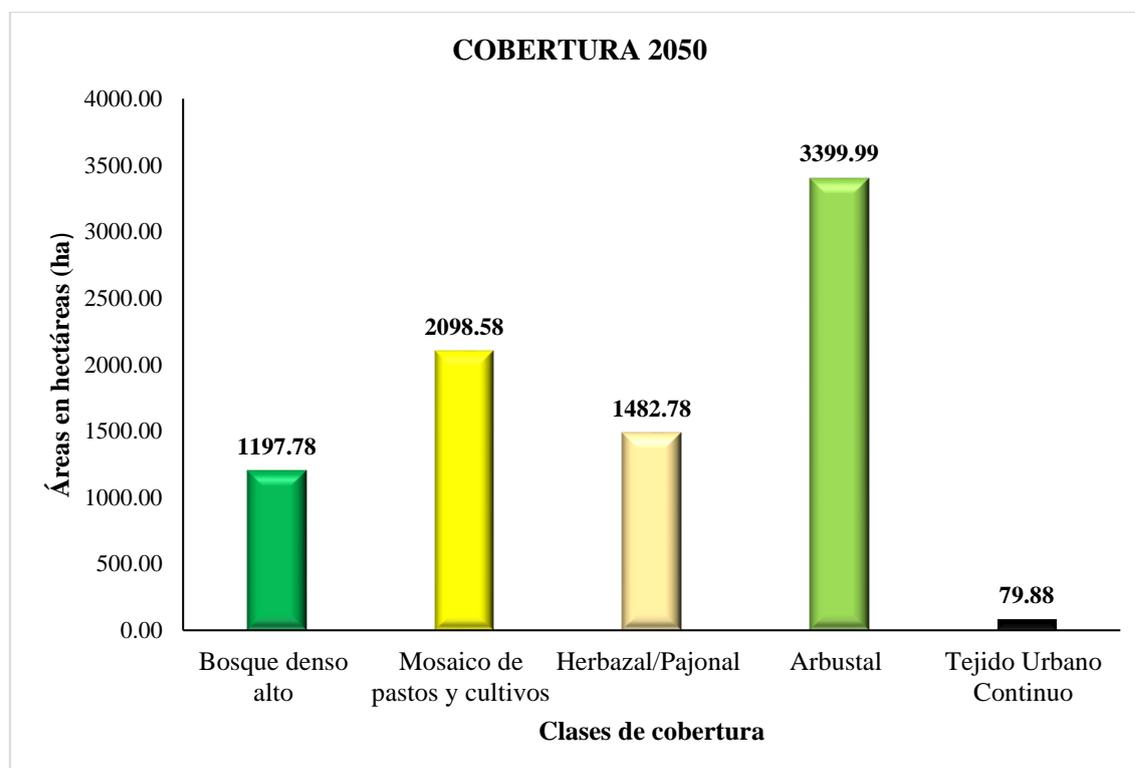


Figura 13

Mapa de cobertura vegetal del año 2050.

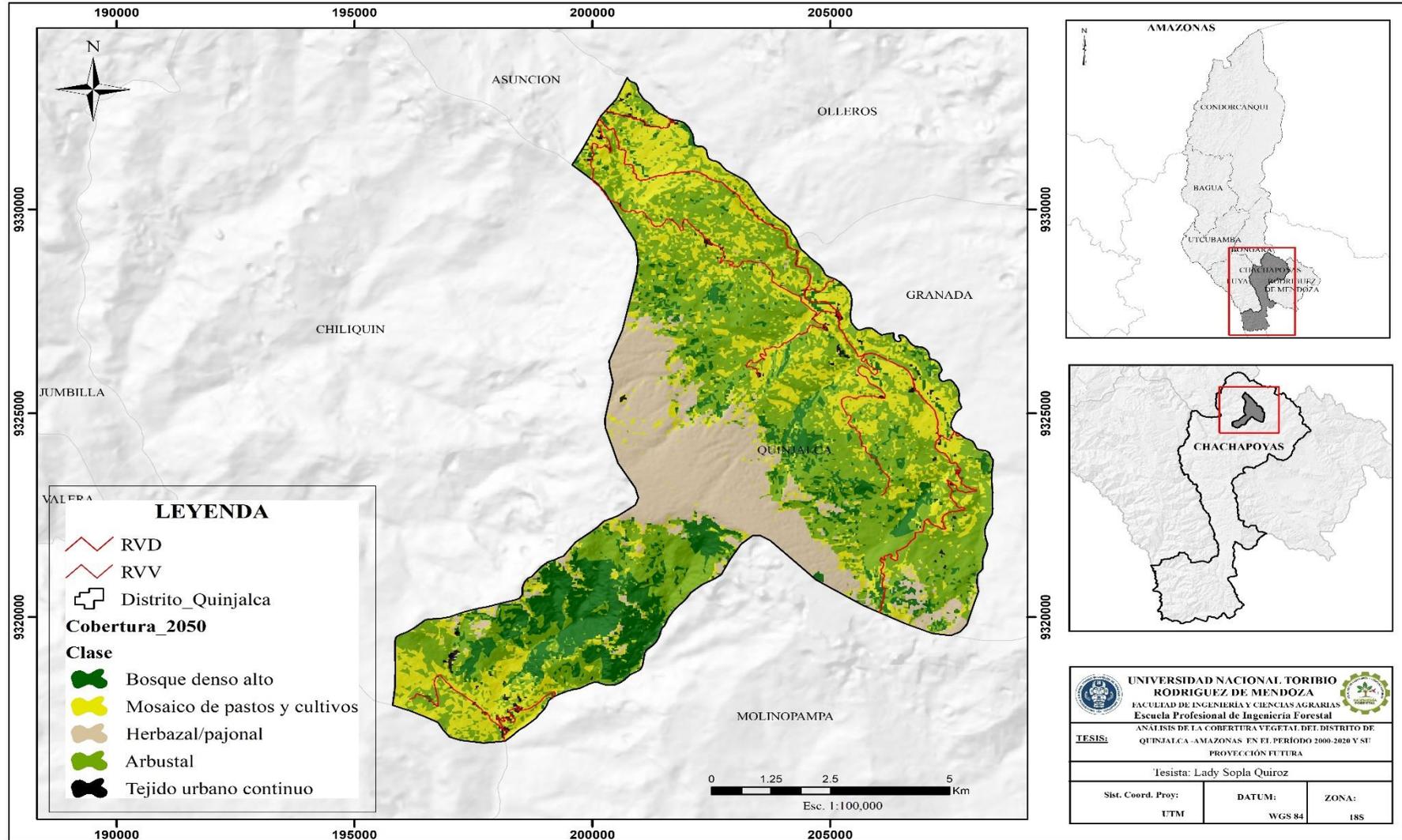


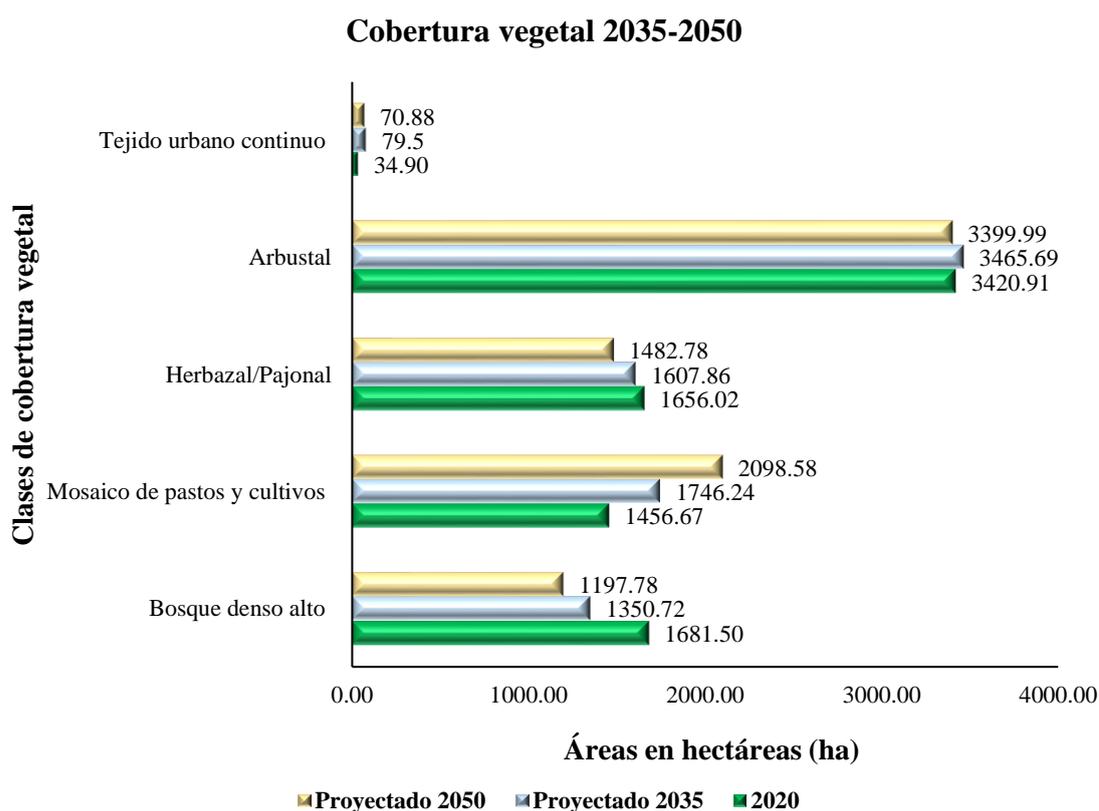
Tabla 18

Estadísticas de área de cobertura vegetal prevista para los años 2035 y 2050.

Clases	Cobertura 2020		Predicción 2035		Predicción 2050		Cambio (2020-2035)		Cambio (2020-2050)	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	BDA	1681.50	20.68	1350.7	0.16	1198	0.15	330.78	-3.31	483.72
MPC	1456.67	17.53	1746.2	0.21	2099	0.25	289.57	2.90	641.91	71.32
HP	1656.02	20.04	1607.9	0.19	1483	0.18	48.16	-0.48	173.24	-19.25
AR	3420.91	41.51	3465.7	0.42	3400	0.41	44.78	0.45	20.92	-2.32
TUC	34.90	0.23	79.5	0.01	79.88	0.01	44.60	0.45	44.98	5.00

Figura 14

Proyección de cobertura vegetal 2035-2050.



IV. DISCUSIÓN

En esta investigación se logró identificar que en el distrito de Quinjalca se cuenta con cinco clases de cobertura basándose en el nivel III de la clasificación Corine Land Cover (CLC) adaptada para Perú. Mediante el análisis multiespectral realizado para el año 2000, se clasificaron a 2 740.70 ha de territorio como Bosque denso alto lo cual representa el 33.22 % de la extensión territorial, para el año 2010 la misma categoría de clase vegetal tuvo una extensión de 2 004.25 ha que representa el 24.29 % del territorio y para el año 2020 se obtuvo 1 681.50 ha de Bosque denso alto que es igual al 20.68 % del distrito; por otra parte, la categoría de Arbustal para el año 2000 se obtuvo un área de 2 605.63 ha que representa el 31.58 % del distrito de Quinjalca, para el año 2010 tuvo 2 159.779 ha que es igual al 26.18 % y para el año 2020 se obtuvo un total de 3 420.91 ha que es igual a 41.51 % , con estos resultados se pudo constatar que la categoría Arbustal tuvo un incremento sustancial. Aunque, tiende a contarse con el amplio territorio ocupado por Mosaico de pastos y cultivos (MPC), evidenciando la presencia de amenazas directas, las cuales van ejerciendo presión en el distrito. Asimismo, si comparamos el porcentaje BDA para los años evaluados (Tabla 10), se tiene una reducción de 38.31% (1 059.21 ha) en un periodo de 20 años, al igual que Herbazal / pajonal disminuyeron en 11.68 % (323.08 ha), efecto contrario ocurre con las áreas territoriales de las clases Tejido urbano continuo 0.87 % (24.08 ha), Arbustal 29.49 % (815.29 ha) y Mosaico de pastos y cultivos 19.63 % (542.91 ha), que aumentaron en el periodo de tiempo evaluado en esta investigación.

Los resultados antes mencionados, tienen similitud en el análisis de cambios de cobertura vegetal, con estudios realizados por otros autores como el de Sandoval-García (2021) quien obtuvo como resultado un aumento de cobertura forestal de 6.6 % durante el período de 1995 al 2016, dichos aumentos en esta clase de cobertura vegetal se debe a las estrategias de restauración impulsadas por instituciones gubernamentales y no gubernamentales, así como el del Proyecto de Reforestación Chachapoyas - Luya, ejecutado por la Autoridad Regional Ambiental (ARA) del Gobierno Regional Amazonas, que busca la recuperación del suelo y la biodiversidad; en el distrito de Quinjalca donde se reforestaron alrededor de 25 ha con especies exóticas (ARA,2023). El crecimiento demográfico, el desarrollo de la economía y cada medida política tiende a influir en las transformaciones del ecosistema, conduciendo a variaciones en los usos de la tierra (MINAM, 2016).

En esta investigación se logró constatar que las clases identificadas tuvieron un aumento significativo a nivel territorial, estos resultados se contrastan con estudios realizados de cambios de cobertura vegetal como el realizado por Loza-Del Carpio & Taype-Huamán (2021), durante el periodo 2000 – 2016, obteniendo como resultado un aumento en las áreas de cultivo desde 5133 ha (27 %) a 7115 ha (37 %) de la superficie distrital; expansión de suelos degradados desde 35 a 120 ha, áreas con escasa vegetación de 17 a 30 ha, la cobertura urbana crece a un 40,7 % anual y se redujeron humedales de 179 a 29,7 ha. Estas alteraciones en la extensión territorial de las clases de cobertura vegetal se deben en primer lugar por los cambios de uso de suelo, así lo manifiesta Miranda et al. (2018) que, el principal motivo de las alteraciones de la cobertura boscosa es debido a los cambios de bosques a áreas como pastizales.

El incremento de Mosaico de pastos y cultivos en el distrito de Quinjalca identificados en esta investigación, se deben a las particularidades del suelo que limitan la agricultura, tornando inviable la productividad de los cultivos a largo plazo, incitando de esta manera a los pobladores locales a la adquisición de más áreas en otros lugares, generando la destrucción de pajonales y bosques primarios u otras áreas naturales de cultivo, esto es avalado por estudios como el de SERFOR (2018), quienes mencionan que el distrito de Quinjalca no es ajeno a este problema ya que hay riesgos directos como el desarrollo socioeconómico, extracción de productos maderables, entre otros, que afectan a la pérdida de cobertura vegetal.

Salas et al. (2018), en su estudio realizado en el ACP Tilacancha de la provincia de Chachapoyas, obtuvo como resultado una disminución de cobertura boscosa de durante el periodo 1984 - 2016 y un aumento en el área pajonal; por otro lado, Mendoza et al. (2017), en su estudio de deforestación en el distrito de Leymebamba, evaluaron el periodo 1989-2016 y efectuaron la estimación de la tasa de deforestación de 118,60 ha/año; estos estudios, contrastan con los resultados obtenidos en esta investigación, pues la cobertura boscosa disminuye, con lo cual queda en evidencia la tendencia de deforestación en la región Amazonas, debido a la sobre explotación del recurso natural que brindan los bosques, además de la presión antrópica que genera el desarrollo social.

En cuanto a la predicción de cambio de cobertura vegetal, se realizó el análisis con cadenas de Markov para evidenciar la ganancia y pérdida del área de cada categoría de cobertura vegetal, hacia el año 2035 y 2050; se clasificaron a Bosque denso alto 1 350.72

ha (16.37 %), y en 2050 la superficie de la misma categoría tiene una extensión 1 197.784 ha (14.52 %); mientras que las áreas de Mosaico de pastos y cultivos en 2035 es de 1746.24 ha (21.17 %) y en 2050 la superficie total es de 2 098.58 ha (25.44 %); la categoría Herbazal/pajonal es de 1 607.86 ha (19.49 %) en 2035 y 1 482.78 (17.97 %) en 2050; la clase Arbustal alcanza 3 465.69 ha (42.01 %) en 2035 y 3 399.99 ha (41.21 %) en 2050 y para la clase de Tejido urbano continuo para el 2035 un total de 79.50 ha (0.96 %) y 79.86 ha (0.86 %) en 2050. Respecto, con los resultados de la simulación de la cobertura vegetal (Tabla 17), se puede determinar, que de continuar las tendencias actuales para el año 2030 se perderán de Bosque denso alto alrededor de 330.78 ha y 152.94 ha en 2050; en la clase de Herbazal/pajonal 48.16 ha en 2035 y 125.08 ha en 2050, las cuales pasarían en mayor proporción a áreas de uso antrópico (MPC). Asimismo, se pronostica un aumento de áreas en las categorías de Mosaico de pastos y cultivos 289.57 ha para el año 2035 y 352.34 ha en 2050; Arbustal 44.78 ha para 2035 y 65.70 ha en el año 2050; Tejido urbano continuo 44.60 para el 2035 y para el año 2050 se mantiene constante.

Sin embargo, la expansión de las tierras agrícolas, la deforestación y la sobreexplotación de los recursos forestales por parte de la población son las causas de la pérdida de vegetación. Hamad et al., (2018), utilizaron el método de la cadena CA-Markov en Terrset para la predicción de cobertura de suelo. Diferentes variables impulsoras (drivers) afectan los cambios en la cubierta vegetal. En un estudio de Kura & Beyene (2020), se encontró que cuatro variables impulsoras, es decir, la distancia de carreteras, la pendiente y la elevación se utilizan para el modelado de predicción futura. Asimismo, para la validación del modelo utilizaron la herramienta “validate” disponible en Terrset, para conocer la exactitud del modelo para simulación a futuro. La V de Cramer y el valor p para todas las variables impulsoras se muestran en la Tabla 11. La V de Cramer indica que el modelo digital de elevación y la distancia de vías son las variables impulsoras más significativas. Sin embargo, todas las variables impulsoras se han utilizado en este estudio para determinar los cambios de cobertura vegetal. Islam et al., (2018), determinaron que tres variables impulsoras, es decir la elevación, la pendiente y distancia de carreteras, eran estadísticamente significativa, para predecir la probabilidad de cambios en la cubierta vegetal forestal. Huong & Phuong (2018) analizaron el modelo de cambio LULC usando Células Automatas y el modelo de Markov, y los resultados revelaron una conversión del 50 % cubierta forestal para la agricultura (28 %), pastizales (12 %) y área urbana (9 %). Otro estudio por Ngoy et al., (2021) utilizaron un modelo de cadena de Markov-

Perceptrón multicapa (MLP-MC), para predecir los cambios de cobertura del suelo en Nueva Jersey. La superficie de matorrales/pastizales mostraron un aumento, mientras que hay una disminución de tierras agrícolas. Palacios et al., (2020 b) utilizaron Redes neuronales Artificiales y Autómatas Celulares a fin de efectuar la predicción de pérdidas de bosque respecto al año 2029, lo que indica pérdidas de vegetación por crecida de las zonas urbanizadas en Iquitos. Al simular de la pérdida de los bosques húmedos en la Amazonia peruana de 2014 a 2030, Rojas, (2017) calculó pérdidas acumuladas de cobertura forestal igual a 16 334.60 km², lo que permite la comprensión e identificación de las posibles áreas forestales con grandes riesgos de deforestación. Esto indica que la pérdida de lugares naturales por la expansión de la actividad humana.

Los mapas simulados para los años 2035 y 2050 indican el gran avance de la pérdida de cubierta forestal en el distrito. El modelo predice que para 2035, el área cubierta por Bosque denso alto representará 330.78 ha y 152.94 ha para 2050. Esto indica un alto riesgo de conversión de la vegetación a otras categorías de cubierta vegetal.

V. CONCLUSIONES

- En este estudio se utilizaron imágenes satelitales y cadenas de Markov para analizar los cambios de la cobertura vegetal en el distrito de Quinjalca; se identificaron cinco clases de cobertura vegetal que estuvieron representadas por: Bosque denso alto, Mosaico de pastos y cultivos, Herbazal/pajonal, Arbustal y Tejido urbano continuo.
- Se determinó, en un periodo de 20 años el bosque denso alto tiene una reducción de 38.31% (1 059.21 ha), al igual que herbazal / pajonal disminuyeron en 11.68 % (323.08 ha), efecto contrario ocurre con las áreas territoriales de las clases tejido urbano continuo 0.87 % (24.08 ha), Arbustal 29.49 % (815.29 ha) y Mosaico de pastos y cultivos 19.63 % (542.91 ha), que incrementaron su cubierta vegetal en el periodo de tiempo evaluado.
- Con el método de cadenas de Markov se analizó la transición del cambio de cobertura vegetal en el distrito de Quinjalca utilizando información de mapas de los años 2000, 2010 y 2020. En un período de 15 y 30 años, demostró que hay una disminución de la superficie de Bosque denso alto, Arbustal y Herbazal/pajonal al 2050. Asimismo, se espera que la superficie Mosaico de pastos y cultivos entre 2020-2050 se incremente de 1 746.26 a 2 098.58 ha.

VI. RECOMENDACIONES

- Debido a la pérdida de cubierta boscosa por el avance de factores antrópicos, se debe implementar programas de reforestación y forestación con especies nativas y generar conciencia en la población para desarrollar actividades sostenibles (sistemas silvopastoriles) que ayude mitigar los impactos negativos de la deforestación.
- Se registro la presencia de *X. loweryi* en bosques relictos de *Polylepis* sp. (Queñual) en el distrito; por ende, se recomienda proteger el hábitat, mediante estrategias de reforestación, debido a que está amenazado por las actividades humanas y actualmente está catalogado como vulnerable por la UICN y en peligro de extinción por el Decreto Supremo N°004-2014-MINAGRI.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, Z., & Ghauri, B. (2016). *Monitoring and Predicting Landuse/Landcover Change Using an Integrated Markov Chain & Multilayer Perceptron Models: A Case Study of Sahiwal Tehsil*.
- ARA (2023). <https://www.facebook.com/araamazonasoficial/>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5–32, 2001, 542–545.
- Chuvieco, E. (2006). Fundamentos de teledetección espacial. In *Fundamentals of remote sensing from space*.
- Dai, X., Wang, Z., Liu, S., Yao, Y., Zhao, R., Xiang, T., Fu, T., Feng, H., Xiao, L., Yang, X., & Wang, S. (2022). Hyperspectral imagery reveals large spatial variations of heavy metal content in agricultural soil - A case study of remote-sensing inversion based on Orbita Hyperspectral Satellites (OHS) imagery. *Journal of Cleaner Production*, 380(P1), 134878. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134878>
- Eastman, J. R. (2016). *Geospatial Monitoring and Modeling System*.
- ECOAN. (2023). <https://www.ecoanperu.org/amaz.html>
- Esmail, M., Masria, A., & Negm, A. (2016). Monitoring Land Use/Land Cover Changes Around Damietta Promontory, Egypt, Using RS/GIS. *Procedia Engineering*, 154, 936–942. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.515>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1996. Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. FAO. Roma.
- Fan, N., Xie, G.D., Zhang, C.S., Chen, L., Li, W.H., Cheng, S.K., 2012. Spatial-temporal dynamic changes of vegetation cover in Lancang river basin during 2001—2010[J]. *Resour. Sci.* 34 (7), 1222–1231.

- Fichot, C. G., Downing, B. D., Bergamaschi, B. A., Windham-Myers, L., Marvin-Dipasquale, M., Thompson, D. R., & Gierach, M. M. (2016). High-Resolution Remote Sensing of Water Quality in the San Francisco Bay-Delta Estuary. *Environmental Science and Technology*, 50(2), 573–583. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03518>
- Ghalehtemouri, K., Shamsoddini, A., Mousavi, M. N., Binti Che Ros, F., & Khedmatzadeh, A. (2022). Predicting spatial and decadal of land use and land cover change using integrated cellular automata Markov chain model based scenarios (2019–2049) Zarriné-Rūd River Basin in Iran. *Environmental Challenges*, 6(July 2021), 100399. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100399>
- Gómez-Camperos, J. A., Jaramillo, H. Y., & Guerrero-Gómez, G. (2022). Digital image processing techniques for detection of pests and diseases in crops: a review. *Ingeniería y Competitividad*, 24(1), 1–17. <https://doi.org/10.25100/iyc.24i1.10973>
- Gonzalez, C. A. (2020). Modelo predictivo del cambio y uso del suelo entre años 1990 a 2030 en el parque Nacional Machalilla [Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- 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*, 2016(90), 89–104. <https://doi.org/10.14350/rig.48600>
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- Huong, N. T. T., & Phuong, N. T. T. (2018). Land use/land cover change prediction in Dak Nong Province based on remote sensing and Markov Chain Model and Cellular Automata. *Journal of Vietnamese Environment*, 9(3), 132–140. <https://doi.org/10.13141/jve.vol9.no3.pp132-140>

- Islam, K., Rahman, M. 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(May 2017), 439–453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.047>
- Jat, M. K., Garg, P. K., & Khare, D. (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(1), 26–43. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.04.002>
- Kafy, A. Al, Rahman, M. S., Faisal, A. Al, Hasan, M. M., & Islam, M. (2020). Modelling future land use land cover changes and their impacts on land surface temperatures in Rajshahi, Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100314>
- Kura, A. L., & Beyene, D. L. (2020). Cellular automata Markov chain model based deforestation modelling in the pastoral and agro-pastoral areas of southern Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18(May), 100321. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100321>
- Landis, R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2529310>
- Leija, E. G., Valenzuela-Ceballos, S. I., Valencia-Castro, M., Jiménez-González, G., Castañeda-Gaytán, G., Reyes-Hernández, H., & Mendoza, M. E. (2020). Analysis of change in vegetation cover and land use in the north-central region of Mexico. The case of the lower basin of the Nazas river. *Ecosistemas*, 29(1), 1–11. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>
- Loza-Del-Carpio, A., & Taype-Huamán, I. (2021). Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú. *Uniciencia*, 35(2), 1–19. <https://doi.org/10.15359/ru.35-2.3>
- Lynch, J., Maslin, M., Balzter, H., & Sweeting, M. (2013). Choose satellites to monitor deforestation. *Nature*, 496, 293–294.

- Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., & Caetano, M. (2015). Land cover mapping analysis and urban growth modelling using remote sensing techniques in greater Cairo region-Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), 1750–1769. <https://doi.org/10.3390/ijgi4031750>
- MINAM (2014). Protocolo: Evaluacion de la Exactitud Tematica del Mapa de Deforestación. *Ministerio Del Ambiente*, 1–32. <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Protocolo-Validacion-Mapa-Deforestacion.pdf>
- MINAM (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*. 2015. <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>
- MINAM (2016). *Mapa Nacional De Ecosistemas Del Perú*.
- Miranda, C., Paranho, A. C., & Pott, A. (2018). Changes in vegetation cover of the Pantanal wetland detected by Vegetation Index: a strategy for conservation. *Biota Neotropica*, 18(1), 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0297>
- Municipalidad de Quinjalca (2019). https://www.wikiwand.com/es/Distrito_de_Quinjalca
- Ngoy, K. I., Qi, F., & Shebitz, D. J. (2021). Analyzing and Predicting Land Use and Land Cover Changes in New Jersey Using Multi-Layer Perceptron–Markov Chain Model. *Earth (Switzerland)*, 2(4), 845–870. <https://doi.org/10.3390/earth2040050>
- Orynbaikyzy, A., Gessner, U., & Conrad, C. (2019). Crop type classification using a combination of optical and radar remote sensing data: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 40(17), 6553–6595. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1569791>
- Palacios, J. J., Zárate, R., Minaya, R. J., & Brañas, M. M. (2020). Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 7(1), 37–50. <https://doi.org/10.22386/ca.v7i1.263>

- Petrou, Z. I., Manakos, I., & Stathaki, T. (2015). Remote sensing for biodiversity monitoring: a review of methods for biodiversity indicator extraction and assessment of progress towards international targets. *Biodiversity and Conservation*, 24(10), 2333–2363. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0947-z>
- Pizarro, S. E., Pricope, N. G., Vargas-machuca, D., Huanca, O., & Ñaupari, J. (2022). Mapping Land Cover Types for Highland Andean Ecosystems in Peru Using Google Earth Engine. *Remote Sensing*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14071562>
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Purswani, E., Verma, S., Jayakumar, S., Khan, M. L., & Pathak, B. (2022). Examining and predicting land use change dynamics in Gandhinagar district, Gujarat, India. *Journal of Urban Management*, 11(1), 82–96. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.003>
- Reid, J., & Castka, P. (2023). The impact of remote sensing on monitoring and reporting - The case of conformance systems. *Journal of Cleaner Production*, 393(March 2022), 136331. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136331>
- Rojas, E. J. (2017). *Análisis y simulación para el año 2030 de los bosques húmedos amazónicos de Perú para el cambio climático*.
- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2014). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 22(11), 57–68. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i11.1605>
- Salas, R., Rojas, N. B., Mamani, J., & Rodriguez, N. Y. (2018). Deforestación en el área de conservación privada Tilacancha: zona de recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2(2), 54. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.393>

- Sandoval-García, R., González, R., & Jiménez, J. (2021). Multitemporal analysis of the change in land cover in the Mixteca Alta Oaxaqueña. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(66). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.816>
- Sepuru, T. K., & Dube, T. (2018). An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9(August 2017), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.10.005>
- SERFOR. (2018). *Ficha Técnica de Estado de Conservación Departamento de Amazonas*. 1–32. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1721150/FT-HCO-03_Pajonal_de_Puna_Húmeda_-_Monte_Azul.pdf
- Seyam, M. M. H., Haque, M. R., & Rahman, M. M. (2023). Identifying the land use land cover (LULC) changes using remote sensing and GIS approach: A case study at Bhaluka in Mymensingh, Bangladesh. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7(January), 100293. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100293>
- Shalaby, A., & Tateishi, R. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27(1), 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2006.09.004>
- Vinayak, B., Lee, H. S., & Gedeo, S. (2021). Prediction of land use and land cover changes in Mumbai city, India, using remote sensing data and a multilayer perceptron neural network-based Markov Chain model. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13020471>
- Vogt, J. V., Safriel, U., Von Maltitz, G., Sokona, Y., Zougmore, R., Bastin, G., & Hill, J. (2011). Monitoring and assessment of land degradation and desertification: Towards new conceptual and integrated approaches. *Land Degradation and Development*, 22(2), 150–165. <https://doi.org/10.1002/ldr.1075>
- Xie, Z., Phinn, S. R., Game, E. T., Pannell, D. J., Hobbs, R. J., Briggs, P. R., & McDonald-Madden, E. (2019). Using Landsat observations (1988–2017) and Google Earth Engine to detect vegetation cover changes in rangelands - A first step towards identifying degraded lands for conservation. *Remote Sensing of Environment*, 232(October 2018), 111317. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111317>

- Yang, S., Song, S., Li, F., Yu, M., Yu, G., Zhang, Q., Cui, H., Wang, R., & Wu, Y. (2022). Vegetation coverage changes driven by a combination of climate change and human activities in Ethiopia, 2003–2018. *Ecological Informatics*, 71(18). <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101776>
- Yupanqui Vargas, W. J. (2021). Dinámica de cobertura y uso de tierras para sostenibilidad de tres comunidades Asháninkas, Río Negro.
- Zhang, J., Zou, T., & Lai, Y. (2021). Novel method for industrial sewage outfall detection: Water pollution monitoring based on web crawler and remote sensing interpretation techniques. *Journal of Cleaner Production*, 312(June), 127640. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127640>
- Zhang, X., Wang, G., Xue, B., & A, Y. (2012). Changes in vegetation cover and its influencing factors in the inner Mongolia reach of the yellow river basin from 2001 to 2018. *Environmental Research*, 215(P1), 114253. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114253>
- Zumaeta, D. L. (2021). 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. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.607>

ANEXOS

Anexo 1. Áreas de entrenamiento del área de estudio levantadas en campo para la clasificación de cobertura vegetal.

Figura 15

Bosque denso alto (BDA).



Figura 16

Mosaico de pastos y cultivos (MPC).



Figura 17

Arbustal (AR).



Figura 18

Pajonales en la parte alta del distrito



Figura 19

Tejido urbano continuo - Distrito Quinjalca- (TUC).



Figura 20

Reforestación con especies exóticas.



Figura 21*Áreas georreferenciadas de la cobertura vegetal en el distrito.*

N°	UTM		Cobertura	Altitud (m.s.n.m)	N°	UTM		Cobertura	Altitud (m.s.n.m)
	Este (X)	Norte (Y)				Este (X)	Norte (Y)		
1	197600	9319637	HP	2789	114	202431	9325553	AR	3221
2	197946	9320211	HP	2675	115	202928	9325740	AR	3235
3	197053	9319838	HP	2895	116	203701	9324934	AR	3241
4	200481	9319157	HP	2995	117	202442	9326401	AR	2994
5	198787	9320705	HP	3293	118	204363	9326759	AR	3242
6	199441	9321425	HP	3562	119	201492	9327714	AR	2938
7	201028	9322626	HP	3608	120	203499	9329464	AR	3603
8	201775	9322826	HP	3590	121	201866	9330009	AR	2764
9	202616	9323426	HP	3265	122	203424	9330083	AR	3109
10	201655	9323533	HP	3597	123	201305	9329763	AR	3139
11	200748	9323946	HP	3547	124	200660	9329827	AR	3150
12	201535	9324974	HP	3606	125	199790	9331033	AR	2841
13	200521	9324894	HP	3558	126	200329	9331882	AR	3035
14	200561	9326201	HP	3465	127	200345	9330644	AR	3171
15	201455	9326174	HP	3553	128	201413	9329194	AR	2865
16	201041	9325454	HP	3563	129	203966	9328707	AR	2899
17	201375	9324120	HP	3548	130	207330	9323832	AR	3149
18	202242	9324493	HP	3392	131	206322	9322739	AR	3164
19	203042	9325027	HP	3607	132	200959	9320665	AR	3327
20	202202	9323760	HP	3494	133	201900	9326965	AR	3020
21	202896	9324173	HP	3352	134	202387	9328861	AR	2972
22	203603	9324093	HP	3631	135	202985	9329715	AR	2652
23	202909	9322732	HP	3548	136	200867	9332607	AR	3158
24	203176	9323413	HP	3634	137	202847	9327564	AR	3033
25	203269	9322252	HP	3551	138	204410	9324213	AR	3113
26	203763	9322519	HP	3513	139	199213	9318986	AR	2649
27	204163	9322159	HP	3518	140	197886	9318161	AR	2406
28	204470	9321412	HP	3409	141	202274	9325191	AR	3115
29	205044	9321238	HP	3321	142	202751	9325275	AR	3206
30	205550	9320691	HP	3459	143	203816	9324515	AR	3151
31	204256	9323013	HP	3033	144	206179	9322487	AR	3010
32	205044	9322679	HP	3423	145	205879	9321913	AR	3213
33	206418	9320331	HP	3334	146	197850	9318560	BDA	2656
34	206658	9321025	HP	3318	147	199227	9319963	BDA	3159
35	206951	9319864	HP	3229	148	200091	9321480	BDA	3255

36	207605	9320331	HP	3487	149	201026	9321077	BDA	3294
37	200895	9326734	HP	3444	150	201839	9321730	BDA	3168
38	201121	9327348	HP	3357	151	202307	9321346	BDA	2917
39	200921	9327868	HP	3514	152	201532	9320526	BDA	2822
40	201646	9325441	HP	3372	153	200866	9319546	BDA	2672
41	201040	9323369	HP	3344	154	198164	9319444	BDA	3299
42	202047	9323243	HP	3213	155	204983	9322306	BDA	3188
43	202607	9322977	HP	3635	156	207340	9321397	BDA	2912
44	203055	9323775	HP	3226	157	207602	9323510	BDA	2946
45	202383	9324097	HP	3401	158	206917	9324298	BDA	2882
46	201796	9323929	HP	3212	159	206808	9325335	BDA	2981
47	201026	9324447	HP	3569	160	206142	9325060	BDA	3419
48	201250	9325119	HP	3201	161	204650	9323593	BDA	3080
49	200662	9325692	HP	3321	162	204811	9325297	BDA	2844
50	201488	9326672	HP	3115	163	205785	9326375	BDA	2815
51	196359	9318824	MPC	2623	164	205390	9326994	BDA	2830
52	196123	9318409	MPC	2497	165	205828	9326791	BDA	2882
53	196922	9317948	MPC	2499	166	204766	9327164	BDA	2920
54	197276	9317093	MPC	2308	167	204328	9327570	BDA	3123
55	197808	9317303	MPC	2348	168	203192	9327591	BDA	3153
56	198105	9317943	MPC	2455	169	201820	9328242	BDA	3146
57	198300	9318870	MPC	2468	170	201681	9329027	BDA	3012
58	198669	9318537	MPC	2676	171	202525	9329672	BDA	3020
59	200035	9318778	MPC	3102	172	202754	9330051	BDA	2840
60	206957	9322608	MPC	3702	173	204510	9328776	BDA	2906
61	207757	9321897	MPC	2856	174	203522	9328280	BDA	3104
62	207764	9324151	MPC	2828	175	201584	9329874	BDA	2844
63	207322	9325079	MPC	3104	176	201174	9330963	BDA	2790
64	205869	9324368	MPC	3194	177	201417	9331210	BDA	2826
65	204778	9324788	MPC	3504	178	202276	9331027	BDA	3024
66	205142	9325331	MPC	3023	179	201302	9330420	BDA	3018
67	205501	9325224	MPC	2950	180	200188	9331347	BDA	2758
68	205598	9325772	MPC	2844	181	200585	9332090	BDA	2767
69	206167	9326187	MPC	2850	182	201178	9332452	BDA	2684
70	206628	9326530	MPC	3180	183	202194	9331394	BDA	2807
71	204071	9325593	MPC	3402	184	202813	9330779	BDA	2823
72	204712	9326028	MPC	2938	185	200112	9319829	BDA	2731
73	204174	9327304	MPC	2928	186	201342	9321285	BDA	3201
74	204153	9326883	MPC	3070	187	201828	9321368	BDA	2623
75	203313	9326699	MPC	3226	188	200072	9321755	BDA	3023

76	202673	9327012	MPC	2907	189	199740	9320209	BDA	2987
77	203426	9328497	MPC	2842	190	197245	9317917	BDA	2901
78	204102	9328200	MPC	3237	191	196842	9318353	BDA	3121
79	201433	9328349	MPC	3044	192	207826	9320979	BDA	3026
80	203216	9328062	MPC	3011	193	204076	9325896	BDA	2756
81	202519	9328502	MPC	2964	194	203373	9325508	BDA	2653
82	203026	9329322	MPC	3030	195	204112	9328954	BDA	2856
83	202570	9330264	MPC	2756	196	198253	9317494	TUC	2401
84	201023	9331694	MPC	2686	197	198420	9317712	TUC	2408
85	201766	9331755	MPC	2824	198	198519	9317759	TUC	2415
86	201146	9331140	MPC	2635	199	198488	9317947	TUC	2791
87	200670	9332959	MPC	2627	200	206131	9325387	TUC	2961
88	201367	9332211	MPC	2933	201	203452	9326033	TUC	3149
89	200767	9330623	MPC	2982	202	203471	9326082	TUC	3158
90	201638	9330674	MPC	2572	203	203468	9325962	TUC	3141
91	197769	9318027	MPC	2563	204	203540	9325949	TUC	3127
92	197118	9317420	MPC	2637	205	203612	9325933	TUC	3138
93	196621	9318558	MPC	2501	206	203611	9325797	TUC	3147
94	196554	9318055	MPC	2768	207	203639	9325786	TUC	3157
95	198106	9318541	MPC	2456	208	203489	9325912	TUC	2872
96	207764	9322423	MPC	2235	209	204904	9327197	TUC	2868
97	206781	9322307	MPC	2301	210	204948	9327178	TUC	2805
98	206919	9324725	MPC	2453	211	205191	9327451	TUC	2807
99	202292	9327442	MPC	2566	212	205169	9327365	TUC	2801
100	203523	9329065	MPC	2785	213	205260	9327333	TUC	2815
101	196911	9317232	AR	2594	214	204486	9327994	TUC	2977
102	196462	9317930	AR	2603	215	202731	9329065	TUC	3014
103	196558	9319377	AR	2639	216	202373	9329276	TUC	3005
104	197216	9318924	AR	2543	217	202443	9329250	TUC	3011
105	199662	9319268	AR	2819	218	202392	9329215	TUC	3004
106	199626	9319511	AR	2854	219	202453	9329199	TUC	3015
107	205472	9326427	AR	3020	220	202397	9329114	TUC	2999
108	206343	9324587	AR	3205	221	202504	9329156	TUC	3138
109	207090	9322084	AR	3296	222	205647	9324280	TUC	3149
110	205964	9320489	AR	3184	223	205772	9324048	TUC	3167
111	206332	9321764	AR	2962	224	205936	9323908	TUC	3126
112	207917	9322949	AR	3344	225	202325	9329350	TUC	3019
113	205158	9323691	AR	3291	226	198465	9317718	TUC	3055

Figura 22

Gráfico de barras multitemporal.

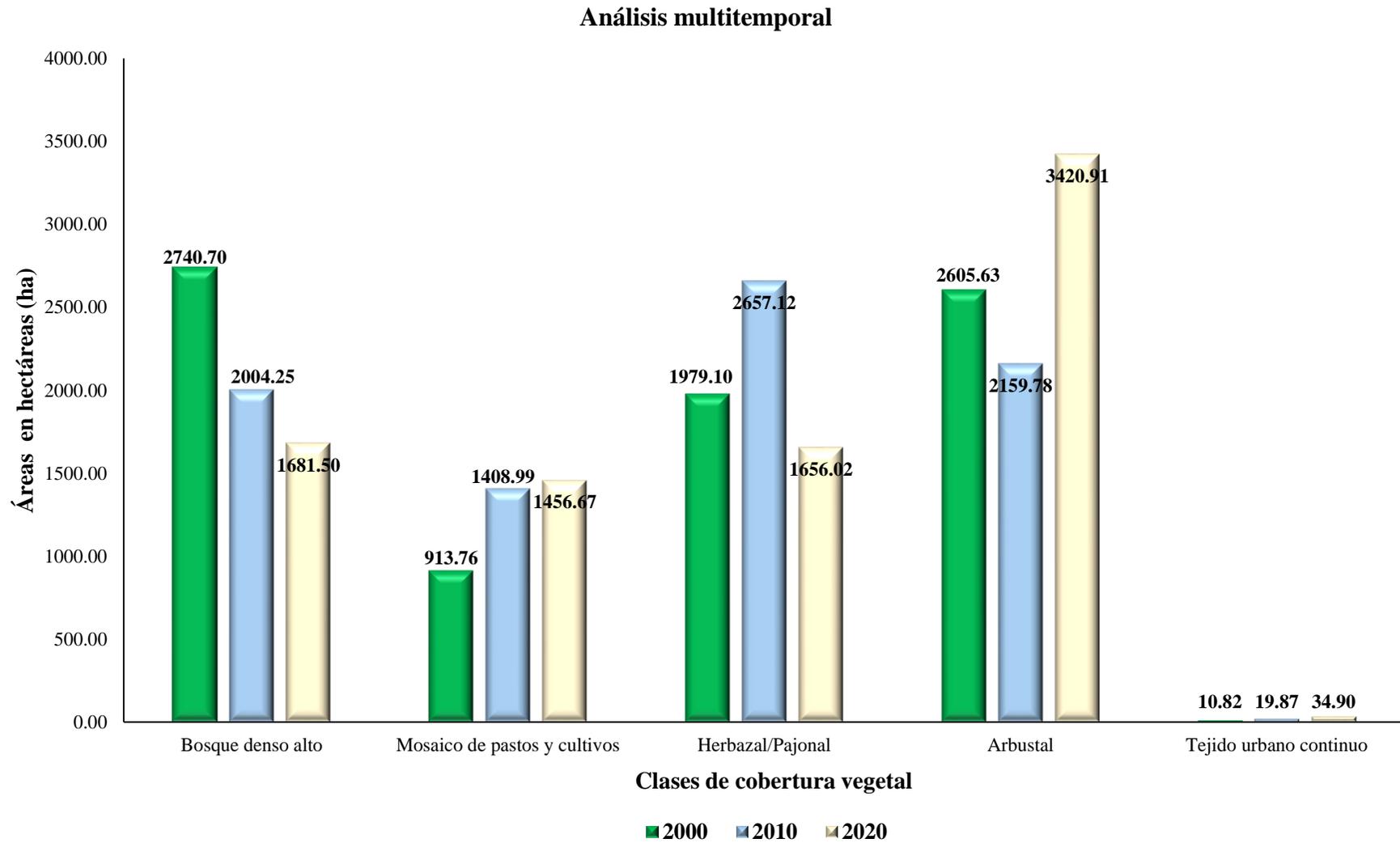
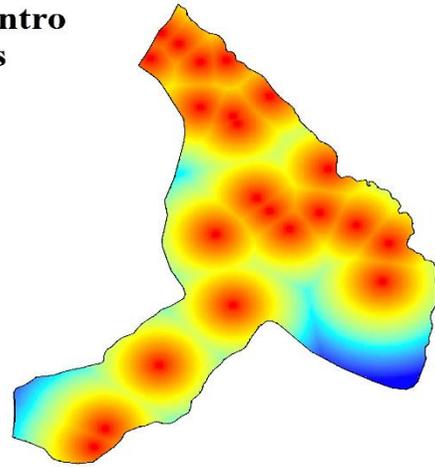


Figura 23

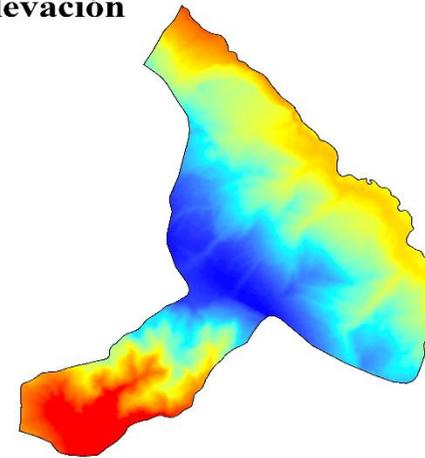
Variables de incidencia en el cambio de cobertura vegetal.

Distancia centro poblados



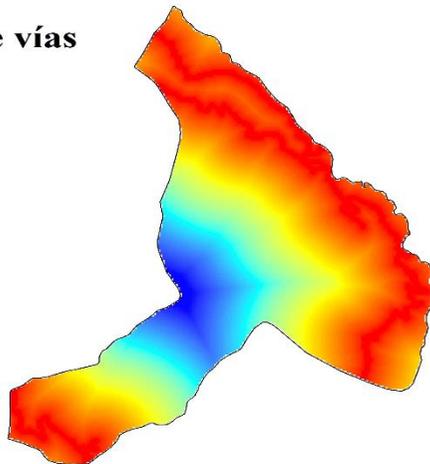
Distancia Value
High : 3889.27
Low : 0

Elevación



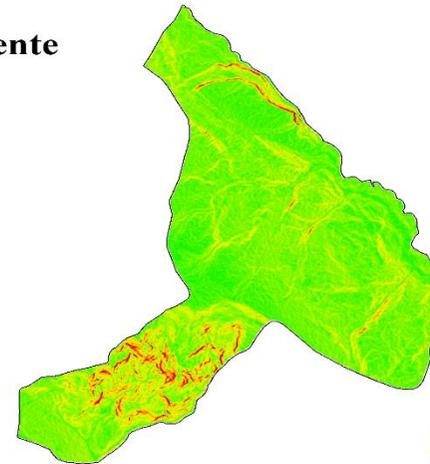
Elevación Value
High : 3669
Low : 2433

Distancia de vías



Distancia Value
High : 5689.79
Low : 0

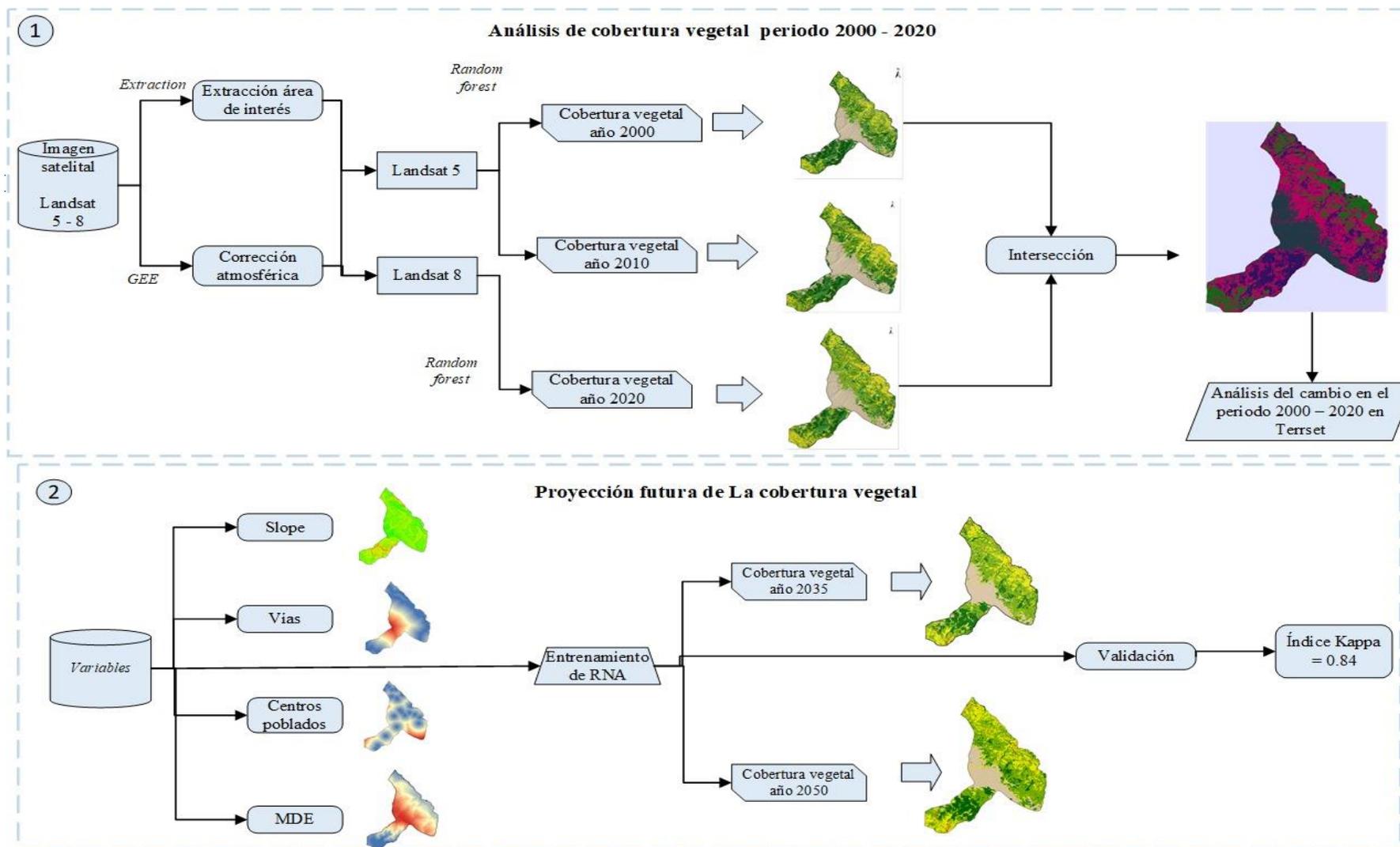
Pendiente



Slope Value
High : 497.691
Low : 0

Figura 24

Metodología y flujograma desarrollado.



Nota: Metodología adaptada de (Ali & Ghauri, 2016).

Figura 25

Códigos de clasificación supervisada mediante imágenes satelitales en la plataforma GEE.

```
// Cargue la image collection: Landsat 8 reflectancia superficial.
var L8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
    .filterDate('2020-01-01', '2020-12-31')
    .filterBounds(geometry)
    .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 30)
    .sort("CLOUD_COVER")
    .first()
    .clip(geometry);
print(L8);

//Centrar objeto
Map.addLayer(L8, Visualizacion,"L8 2020 Quinjalca")
Map.centerObject(geometry,10)

//Clasificación supervisada
var muestras = Bosque.merge(Pastizal).merge(Pajonal).merge(Arbusto).merge(Urbano);
var entrenamiento = L8.sampleRegions(muestras,['clase'],30);
print(entrenamiento.size())
var bands = ["SR_B1","SR_B2","SR_B3","SR_B4","SR_B5","SR_B6","SR_B7","ST_B10"];

// clasificador Random Forest
var clasificacion = ee.Classifier.smileRandomForest(10).train(entrenamiento,'clase',bands)
var imagen = L8.classify(clasificacion);
Map.addLayer(imagen,{min:1,max:5,palette:['#c8890b','#1483f7','#5be20e','#229b17']},'Clasificado');

// Indicadores de exactitud temática - entrenamiento
var confMatrix = clasificacion.confusionMatrix();
var OA = confMatrix.accuracy();
var CA = confMatrix.consumersAccuracy();
var Kappa = confMatrix.kappa();
var Order = confMatrix.order();
var PA = confMatrix.producersAccuracy();
```

```
print(confMatrix, 'Matriz de Confusión de Los datos de entrenamiento');
print(OA, 'Precisión General de Los datos de entrenamiento');
print(CA, 'Calidad del Consumidor de Los datos de entrenamiento');
print(Kappa, 'Indicador Kappa de Los datos de entrenamiento');
print(PA, 'Calidad del Productor de Los datos de entrenamiento');

//Exportar drive
Export.image.toDrive({
  image: imagen,
  description: 'Class_Quinjalca_2020',
  folder: 'TESIS2023',
  crs: 'EPSG:32618',
  scale: 30,
  region: geometry});
```

Tabla 19*Estructura de la leyenda Corine Land Cover adaptada para Perú.*

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV	
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo		
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas industriales o comerciales		
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		
		1.2.3. Áreas portuarias		
		1.2.4. Aeropuertos		
		1.2.5. Obras hidráulicas		
		1.2.6. Infraestructura petrolera		
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos		
		1.3.2. Áreas de disposición de residuos		
	1.4. Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Áreas verdes urbanas		
		1.4.2. Instalaciones recreativas		
	2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros Cultivos Transitorios	
			2.1.2. Cereales	2.1.2.1. Arroz
2.1.3. Oleoginosas y leguminosas			2.1.2.2. Maíz	
			2.1.2.4. Cebada	
2.1.4. Hortalizas			2.1.2.5. Trigo	
2.1.5. Tubérculos				
2.2. Cultivos permanentes		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos		
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos		
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos		
		2.2.4. Cultivos agroforestales		

	2.2.5. Cultivos confinados		
	2.3. Pastos		
	2.2. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos 2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos 2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales 2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales 2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo 3.1.1.1. Bosque denso bajo de tierra firme 3.1.1.2. Bosque denso bajo inundable	
		3.1.2. Bosque abierto bajo 3.1.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme 3.1.2.2. Bosque abierto bajo inundable	
		3.1.3. Bosque denso alto 3.1.3.1. Bosque denso alto de tierra firme 3.1.3.2. Bosque denso alto inundable	
		3.1.4. Bosque abierto alto 3.1.4.1. Bosque abierto alto de tierra firme 3.1.4.2. Bosque abierto alto inundable	
		3.1.5. Bosque fragmentado 3.1.5.1. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	
		3.1.6. Bosque Ripario 3.1.6.1. Bosque Ripario	
	3.2. Bosques plantados	3.2.1. Plantación Forestal	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	3.3.1.1. Herbazal denso 3.3.1.2. Herbazal abierto
		3.3.2. Arbustal	3.3.2.1. Arbustal denso 3.3.2.2. Arbustal abierto
		3.3.3. Vegetación secundaria o en transición	

		3.3.5. Arbustal / área intervenida	
		3.3.6. Herbazal / área intervenida	
		3.3.7. Arbustal-Herbazal / área intervenida	
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	
		3.4.2. Afloramientos rocosos	
		3.4.3. Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.4. Áreas quemadas	
		3.4.5. Glaciares	
		3.4.6. Salares	
		4.1.1. Áreas Pantanosas	4.1.1.1. Pantano Arborio
	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.2. Turberas y bofedales	
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	
4. Áreas húmedas		4.2.1. Pantanos costeros	
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.2. Salitral	
		4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar	
		5.1.1. Ríos (50 m)	
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	
	5.1. Aguas continentales	5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales	
		5.1.4. Canales	
5. Superficies de Agua		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales	
		5.2.1. Lagunas costeras	
	5.2. Aguas costeras	5.2.2. Mares y océanos	
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina	