

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad ambiental

**Cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, Chota, Perú: una
proyección al 2050 y 2070**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
AMBIENTAL

AUTOR

Bach. Nelly Vasquez Gonzalez

ASESOR

Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo

COASESOR

M. Sc. Eisner Will Castillo Rojas

Dennis Alvarino Cieza Tarrillo
Ingeniero Agrónomo
Reg CIP N° 209060

M. Sc. Ing. Eisner Will Castillo Rojas
DOCENTE UNACH

CHOTA – PERÚ

Diciembre, 2025



Universidad Nacional Autónoma de Chota

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental

RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN N° 770-2025-FCA/UNACH



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, docente asesor de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que la tesis de investigación titulada **“Cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, Chota, Perú: una proyección al 2050 y 2070”**; ejecutada por la **Bachiller Nelly Vasquez Gonzalez** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, **asesorado por el Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo y el M.Sc. Eisner Will Castillo Rojas (coasesor)**, presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 19%**, sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 770-2025-UNACH.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 20 de
diciembre de 2025.

Atentamente

Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo

Asesor


EPIFA - UNACH

Eisner Will Castillo Rojas

Nelly Vasquez

 Tesis 2025

 Tesis

 Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3423535640

Fecha de entrega

24 nov 2025, 2:27 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

24 nov 2025, 3:12 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

1_NellyVasquezG.pdf

Tamaño del archivo

7.4 MB

100 páginas




18.756 palabras

95.989 caracteres

19% Similitud general


El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 19%  Fuentes de Internet
- 11%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
3 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 19% Fuentes de Internet
- 11% Publicaciones
- 10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	hdl.handle.net	7%
2	Internet	repositorio.unc.edu.pe	1%
3	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
4	Internet	repositorio.iiap.org.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	KTH - The Royal Institute of Technology	<1%
6	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
8	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
10	Publicación	Gómez Díaz, Mónica Andrea. "Gestión ambiental del Complejo de Páramos las He..."	<1%
11	Internet	repositorio.upagu.edu.pe	<1%

12	Internet	www.propuestaciudadana.org.pe	<1%
13	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
14	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
15	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1%
16	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
18	Internet	dspace.esoch.edu.ec	<1%
19	Internet	sinia.minam.gob.pe	<1%
20	Internet	www.ambi-agua.net	<1%
21	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
23	Internet	old.oalib.com	<1%
24	Internet	dehesa.unex.es	<1%
25	Internet	repositorio.unapiquitos.edu.pe	<1%

26	Internet	1library.co	<1%
27	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
28	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
29	Internet	www.repositorio.unasam.edu.pe	<1%
30	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad de Manizales	<1%
32	Internet	repositorio.unamad.edu.pe	<1%
33	Trabajos del estudiante	Universidad Torcuato di Tella - Tii	<1%
34	Internet	aes.ucf.edu.cu	<1%
35	Internet	issuu.com	<1%
36	Internet	repositorio.untrm.edu.pe	<1%
37	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
38	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%
39	Internet	docplayer.es	<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
 Reglamento de Grados y Títulos



ANEXO N.º 11: ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.º 421 -2025-FCA/UNACH

Nombres y apellidos	Cargo
Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova	Presidente
M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito	Secretario
Dr. Jim Jairo Villena Velásquez	Vocal

De la tesis titulada:

Cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, Chota, Perú:
 una proyección al 2050 y 2070.

Que ha sustentado la Bachiller

Nombres y apellidos	DNI
Bach. Nelly Vasquez Gonzalez	74873936

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

Unanimidad Mayoría

Aprobar Desaprobar

Otorgando la calificación de:

Aprobado
 Excelente
 Bueno
 Regular

Desaprobado

Colpa Matara, 11 de diciembre de 2025

Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova
Presidente

M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito
Secretario

Dr. Jim Jairo Villena Velásquez
Vocal

Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo
Asesor

M. Sc. Eisner Will Castillo Rojas
Cosesor



DEDICATORIA

A mis padres Doris y Gilberto, por su amor incondicional, sus consejos, sacrificios constantes y su ejemplo de perseverancia que han sido el pilar de mi formación.

A mis hermanos Ivan y Manuel, por su cariño, apoyo, motivación en cada etapa de este camino, a mi cuñada Mabel y a mi sobrina Ailany por su consideración, cariño y apoyo.

Y a mí misma, por no rendirme ante las dificultades y creer siempre que los sueños se pueden alcanzar con esfuerzo y perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi guía constante, por darme fortaleza en los momentos difíciles y fuerza de voluntad para alcanzar mis objetivos.

Agradezco profundamente a la Universidad por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y a mis docentes de la carrera de Ingeniería Forestal y Ambiental por compartir sus conocimientos durante los cinco años de formación.

A mis asesores Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo y M.Sc. Eisner Will Castillo Rojas y por su guía técnica, su paciencia y valiosas observaciones que contribuyeron significativamente al desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	14
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Justificación de la investigación	16
1.4. Objetivos de la investigación	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes del estudio	19
2.2. Bases teórico-científicas	22
2.2.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	22
2.2.2. Teledetección	23
2.2.3. Índices espectrales	23
2.2.4. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	24
2.2.5. Clasificación de imágenes	24
2.2.6. Metodologías de clasificación de cobertura	25
2.2.7. Análisis multitemporal	28
2.2.8. Random Forest	28
2.2.9. Software TerrSet	29
2.3. Definición de conceptos	30

2.3.1.	Cambio de cobertura y uso del suelo	30
2.3.2.	Bosque denso alto	30
2.3.3.	Bosque abierto bajo.....	31
2.3.4.	Herbazal	31
2.3.5.	Arbustal.....	31
2.4.	Hipótesis	31
2.4.1.	Formulación de la hipótesis	31
2.5.	VARIABLES E INDICADORES	32
2.5.1.	Variable independiente.....	32
2.5.2.	Variable dependiente.....	32
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....		34
3.1.	Ubicación	34
3.2.	Tipo y nivel de investigación	36
3.3.	Diseño de la investigación	36
3.4.	Métodos de investigación.....	36
3.5.	Población, muestra y muestreo	38
3.5.1.	Población	38
3.5.2.	Muestra	38
3.5.3.	Muestreo	38
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
3.7.1.	Adquisición y selección de imágenes satelitales	40
3.7.2.	Preprocesamiento de imágenes satelitales.....	41
3.7.3.	Clasificación supervisada	41
3.7.4.	Proyección de los cambios de cobertura y uso del suelo.....	44
3.8.	Análisis estadístico	45
3.8.1.	Matriz de confusión.....	46

3.8.2. Índice Kappa (k)	46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. Identificación de clases de cobertura y uso del suelo según CORINE Land Cover	48
4.1.1. Tejido urbano continuo (Au)	49
4.1.2. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Aem)	51
4.1.3. Pastos (Pa)	52
4.1.4. Mosaico de cultivos (Mc)	54
4.1.5. Bosque denso alto (Bda).....	56
4.1.6. Bosque abierto bajo (Bab)	57
4.1.7. Herbazal (He)	59
4.1.8. Arbustal (Ar).....	60
4.1.9. Ríos (Ri)	62
4.2. Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo en el año 2000	63
4.2.1. Análisis de precisión de clasificación de cobertura año 2000	67
4.2.2. Cálculo del Índice Kappa para el año 2000	67
4.3. Análisis de cobertura y uso del suelo en el año 2012.....	69
4.3.1. Análisis de precisión de clasificación de cobertura año 2012	72
4.3.2. Cálculo del Índice Kappa para el año 2012	72
4.4. Análisis de cobertura y uso del suelo en el año 2024.....	74
4.4.1. Análisis de precisión de clasificación de cobertura	77
4.4.2. Cálculo del Índice Kappa para el año 2024.....	77
4.5. Cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto.....	79
4.6. Proyección de cobertura y uso del suelo para el año 2050.....	80
4.6.1. Matriz de probabilidad de transición al 2050	83
4.7. Proyección de cobertura y uso del suelo para el año 2070.....	83
4.7.1. Matriz de probabilidad de transición al 2070	87

4.8. Cambio de cobertura y uso del suelo para los años 2000 – 2024 y su proyección 2050 y 2070.....	88
4.8. Contrastación de hipótesis.....	89
4.9. Discusión de resultados.....	90
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
CAPITULO VI. REFERENCIAS	98
CAPÍTULO VII. ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 CORINE Land Cover adaptada para el territorio peruano	27
Tabla 2 Descripción de variables e indicadores	33
Tabla 3 Características de las imágenes satelitales adquiridas.....	40
Tabla 4 Valoración del coeficiente Kappa (K)	47
Tabla 5 Categorías de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto	48
Tabla 6 Clasificación de cobertura y uso del suelo en el año 2000.....	64
Tabla 7 Matriz de confusión año 2000.....	67
Tabla 8 Clasificación de cobertura y uso del suelo en el año 2012.....	69
Tabla 9 Matriz de confusión año 2012.....	72
Tabla 10 Clasificación de cobertura y uso del suelo en el año 2024.....	74
Tabla 11 Matriz de confusión año 2024	77
Tabla 12 Cambio de cobertura y uso del suelo en el en el periodo 2000 – 2024 (ha)	79
Tabla 13 Cambio de cobertura y uso del suelo en el en el periodo 2000 – 2024 (%).....	80
Tabla 14 Proyección de cobertura y uso del suelo para el año 2050.....	81
Tabla 15 Matriz de probabilidad de transición para el año 2050	83
Tabla 16 Cobertura y usos del suelo del distrito de Querocoto para el año 2070	84
Tabla 17 Matriz de probabilidad de transición al año 2070	87
Tabla 18 Cambio de cobertura y uso del suelo para los años 2020 - 2024	88
Tabla 19 Especies representativas por tipo de cobertura	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Índice de vegetación de diferencia normalizada	24
Figura 2 Etapas de la metodología CORINE Land Cover.....	25
Figura 3 Esquema del algoritmo Random Forest	29
Figura 4 Mapa de ubicación del distrito de Querocoto.....	34
Figura 5 Tejido urbano continuo, centro poblado El Campamento	50
Figura 6 Tejido urbano continuo, centro poblado El Rocoto.....	50
Figura 7 Tejido urbano continuo, Querocoto capital del distrito	51
Figura 8 Tejido urbano continuo, centro poblado Pacopampa	51
Figura 9 Zona de extracción minera Río Tinto - La Granja.....	52
Figura 10 Área de pastos naturales – zonas aledañas al centro poblado Pacopampa.....	53
Figura 11 Área de pastos naturales - centro poblado Paraguay	54
Figura 12 Área de pastos naturales – comunidad La Pampa	54
Figura 13 Zona de cultivo de “maíz” Zea mays – áreas aledañas al centro poblado Campamento	55
Figura 14 Zona de cultivo de “granadilla” Passiflora ligularis – comunidad Succhuran.....	56
Figura 15 Área de bosque denso alto.....	57
Figura 16 Área de bosque abierto bajo – comunidad La Cruz Roja.....	59
Figura 17 Zona de herbazales – comunidad El Rejo	60
Figura 18 Zona de arbustales	61
Figura 19 Zona de arbustales – Sector San Luis.....	62
Figura 20 Quebrada San Luis	63
Figura 21 Zona donde se localiza cuerpos de agua – centro poblado El Rocoto	63
Figura 22 Cobertura y uso del suelo para el año 2000.....	65
Figura 23 Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto para el año 2000....	65

Figura 24 Cobertura y uso del suelo año 2012	69
Figura 25 Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto para el año 2012....	70
Figura 26 Cobertura y uso del suelo año 2024	75
Figura 27 Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto para el año 2024....	75
Figura 28 Proyección de cobertura y uso del suelo año 2050	81
Figura 29 Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto, proyección al año 2050.....	81
Figura 30 Proyección de cobertura y uso del suelo año 2070	84
Figura 31 Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto, proyección al año 2070.....	85
Figura 32 Proyección de cobertura y uso del suelo en Querocoto (2000 – 2070).....	89
Figura 33 Cambio de cobertura y uso del suelo año 2000 – 2024.....	108
Figura 34 Procesamiento de análisis de cambios.....	109
Figura 35 Modelado y proyección de cambio de cobertura mediante CA-Markov 2000 – 2024.....	110
Figura 36 Ganancias y pérdidas entre los años 2000 y 2024.....	111
Figura 37 CA_Markov para el año 2050	111
Figura 38 CA_Markov para el año 2070	113
Figura 39 Proyección de cobertura año 2070	115
Figura 40 Proceso de modelamiento de proyección	116
Figura 41 Verificación de coberturas en campo – cultivo granadilla	119
Figura 42 Verificación de coberturas en campo – mosaico de cultivos.....	119
Figura 43 Verificación de coberturas en campo - bosque de protección Pagaibamba.....	120
Figura 44 Identificación de especies por clase de cobertura	120
Figura 45 Verificación de coberturas en campo – bosque denso alto	121

Figura 46 Verificación de coberturas en campo – Zona de amortiguamiento BP Pagaibamba	121
Figura 47 Verificación de coberturas en campo.....	122

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto (Chota, Perú) entre 2000–2024 y proyectar su evolución a 2050 y 2070. Se empleó la metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada por el MINAM y una clasificación con Random Forest; la proyección se generó con CA-Markov en TerrSet. Se identificaron las clases CLC: tejido urbano continuo, áreas de extracción de minería e hidrocarburos, pastos, mosaico de cultivos, bosque denso alto, bosque abierto bajo, herbazal y arbustal. Entre 2000–2024 se registró una reducción de bosque denso alto (–6.60 %, –1969.98 ha) y de bosque abierto bajo (–3.69 %, –1100.65 ha), junto con incrementos en pastos (+1070.57 ha), herbazal (+699.65 ha), arbustal (+493.73 ha), mosaico de cultivos (+678.45 ha), tejido urbano (+56.97 ha) y extracción minera (+24.34 ha). La proyección indica que, para 2050, el bosque denso alto caería a 1216.54 ha (–28 % respecto de 2000) y, para 2070, la reducción acumulada alcanzaría –78 % (–3462.83 ha); el bosque abierto bajo mostraría una disminución de –47.9 % respecto de 2000. En conjunto, los resultados mostraron un patrón sostenido de cambio o transformación espacial de las coberturas, caracterizado por la reducción progresiva de áreas naturales y el incremento de usos antrópicos, tendencia que se replicó en los escenarios proyectados. El estudio proporciona información comparativa y escenarios de referencia útiles para el seguimiento del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito.

Palabras clave: cambio de cobertura; uso del suelo; CORINE Land Cover; CA-Markov; Random Forest.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate land cover and land use change in the district of Querocoto (Chota, Peru) between 2000 and 2024, and to project its evolution to 2050 and 2070. The analysis applied the CORINE Land Cover (CLC) methodology adapted by the Peruvian Ministry of the Environment (MINAM) and a Random Forest classification; future scenarios were generated using the CA-Markov model in TerrSet. The following CLC classes were identified: continuous urban fabric, mining and hydrocarbon extraction areas, grasslands, crop mosaic, dense high forest, open low forest, herbaceous vegetation, and shrubland. Between 2000 and 2024, a reduction was observed in dense high forest (−6.60 %, −1969.98 ha) and open low forest (−3.69 %, −1100.65 ha), along with increases in grasslands (+1070.57 ha), herbaceous vegetation (+699.65 ha), shrubland (+493.73 ha), crop mosaic (+678.45 ha), urban fabric (+56.97 ha), and mining extraction areas (+24.34 ha). Projections indicate that by 2050, dense high forest would decrease to 1216.54 ha (−28 % relative to 2000), and by 2070 the cumulative reduction would reach −78 % (−3462.83 ha); open low forest would decrease by −47.9 % compared with 2000. Overall, the results revealed a sustained pattern of spatial transformation in land cover, characterized by the progressive reduction of natural areas and the expansion of anthropogenic land uses, a trend that persisted in the projected scenarios. This study provides comparative information and reference scenarios useful for monitoring land cover and land use change in the district.

Keywords: land cover change; land use; CORINE Land Cover; CA-Markov; Random Forest.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, se reconoce la importancia de la preservación del ambiente y los recursos naturales ya que ellos proveen servicios ecosistémicos esenciales para el desarrollo y equilibrio de la vida. La dinámica de los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo son fundamentales para conocer los procesos de degradación, deforestación y pérdida de la biodiversidad en un espacio determinado (Zumaeta, 2021); los mismos que son originados por causas naturales o antrópicas, siendo estas últimas las más preocupantes debido a la magnitud de los daños producidos por el inadecuado manejo y distribución de los recursos naturales, trayendo como consecuencia la alteración, el desequilibrio y la degradación del ambiente y los ecosistemas en general. Además, sumado a ellos, las actividades extractivistas, el crecimiento urbano desordenado, el aumento de la población, la expansión de tierras agrícolas, incendios forestales y actividades de tipo industrial – minero han revolucionado el patrón de uso del suelo (Naikoo et al., 2020).

En el mes de noviembre del año 2024, en el distrito de Querocoto se registró un incendio forestal que ocasionó pérdidas materiales y daños en la producción pecuaria y agrícola; se reportaron 7.1 ha de cultivos perdidos, 11.8 ha de cultivo afectados y 110 ha de cobertura natural destruida; estos eventos impactaron directamente en la pérdida de cobertura al transformar severamente el paisaje alterando sus funciones ecológicas (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2024). De igual manera, en noviembre del año 2016, el Bosque de Protección Pagaibamba sufrió un incendio forestal que afectó aproximadamente 410 ha de su área boscosa y pajonales arbustivos; como consecuencia, se registraron periodos más prolongados de estiaje por la escasez de precipitaciones, disminución en el abastecimiento de

agua para los distritos involucrados, y afectación directa en el hábitat de una multitud de especies de flora y fauna silvestre propias de la zona (Vega, 2022).

En el distrito de Querocoto se presenta conflictos por sub uso, principalmente en la parte alta, donde el suelo posee alto potencial productivo tanto agrícola como forestal, pero lamentablemente no se aprovecha de forma adecuada, lo que significa que pueden ser propensas a la degradación de suelo, pérdida de materia orgánica y nutrientes, por lo tanto, disminución de fertilidad (Gobierno Regional de Cajamarca [GORE], 2011). Además de estar conformado por una diversidad de ecosistemas que incluyen bosques naturales y áreas con vegetación arbustiva que hospedan variedad de especies de flora y fauna; lo que constituye diferentes zonas de vida, los predominantes son los siguientes: bosque montanos, bosque húmedo y bosque tropical, cuya conservación asegura la disponibilidad de servicios ecosistémicos (Germán y Alcántara 2010).

Querocoto cuenta también con actividad minera, específicamente en el centro poblado La Granja, ubicada entre valles interandinos. Este proyecto desarrollado a gran escala que impactan y son de gran importancia en la zona de influencia tanto social, ambiental y económica (Damonte y Glave 2016). Si bien la minería genera beneficios socioeconómicos, también ocasiona conflictos medioambientales ya que es una de las actividades extractivistas que cambia drásticamente los paisajes naturales e impacta y destruye la cobertura vegetal, en Querocoto, las actividades mineras han causado impactos físicos, químicos y ecológicos que van desde afectaciones a la salud de la población hasta cambios de vocación y uso del suelo, es decir, conversión de espacios naturales en zonas de explotación minera, alteración de la disponibilidad del recurso hídrico, riesgo de desertificación, deforestación y/o pérdida de vegetación, expansión urbana y como consecuencia modificación del paisaje ecológico (Aguilar et al., 2023).

Por ello, el presente estudio tuvo como finalidad evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, durante el periodo 2000 – 2024, además de una proyección de cobertura vegetal hacia los años 2050 y 2070. Para ello, se emplearon imágenes satelitales multiespectrales y el software QGIS, lo que permitió realizar un análisis multitemporal de los cambios espaciales ocurridos, identificando las pérdidas y ganancias de las diferentes coberturas. Asimismo, se efectuó una verificación en campo con el propósito de validar los puntos de control correspondientes a cada etapa del estudio, garantizando la precisión de la clasificación y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

1.2. Formulación del problema

- ✓ ¿Cuál fue el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, Chota, Perú durante el periodo 2000 – 2024, y cuál es la proyección estimada al 2050 y 2070?

1.3. Justificación de la investigación

La presente investigación partió de la necesidad de realizar un análisis multitemporal en el distrito de Querocoto, provincia de Chota, Perú, durante el periodo 2000 – 2024, con el propósito de evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo y proyectar su comportamiento futuro hacia los años 2050 y 2070. Los resultados obtenidos permitieron comprender la tendencia observada en el territorio, caracterizada por la expansión de coberturas antrópicas y la reducción progresiva de coberturas naturales, tendencia que podría mantenerse e intensificarse en las próximas décadas, cuyo enfoque contribuyó a la comprensión de los procesos de transformación del paisaje. Las investigaciones sobre la variación de la cobertura y uso del suelo resultaron fundamentales para analizar los efectos y respuestas del ecosistema ante el cambio ambiental y la intervención humana. Asimismo, el estudio continuo de esta

información permitió identificar los mecanismos internos y los principales factores causantes de dichas transformaciones (Xu et al., 2018).

En el distrito de Querocoto se encuentra ubicado el Bosque de Protección de Pagaibamba, un área natural protegida (ANP) de gran importancia no solo para el distrito, sino también para el país. Su función principal consiste en garantizar el abastecimiento del recurso hídrico tanto para el consumo humano como para el uso agrícola de los distritos de Querocoto, Huambos y Llama (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP], 2019). Resultó esencial destacar la importancia ecológica de los diversos ecosistemas presentes, entre ellos el bosque seco montano bajo tropical, bosque húmedo montano bajo tropical y bosque muy húmedo montano tropical, los cuales desempeñan un papel clave en la conservación de la cobertura y uso del suelo, manteniendo estables sus funciones ecológicas y favoreciendo el manejo sostenible de los recursos naturales.

Por esta razón, surgió la necesidad de realizar estudios sobre la evolución y los cambios producidos en la cobertura y uso del suelo de Querocoto desde el año 2000 hasta el año 2024. Dicho análisis permitió identificar los principales factores naturales y antrópicos que ocasionaron estas transformaciones, entre ellos la expansión agrícola y ganadera, la urbanización, la deforestación y la actividad minera. A través del uso de imágenes satelitales multiespectrales y del software QGIS, se logró analizar los cambios ocurridos en el territorio, generando información valiosa que permitió identificar los principales cambios paisajísticos del distrito.

1.4.Objetivos de la investigación

1.4.1. *Objetivo general*

- ✓ Evaluar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto durante el periodo 2000 – 2024 y estimar su evolución futura mediante la proyección a los años 2050 y 2070.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- ✓ Clasificar las clases cobertura y uso del en los años 2000, 2012 y 2024 mediante el procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales.
- ✓ Analizar las variaciones espaciales y temporales de las coberturas identificadas en el distrito.
- ✓ Realizar la proyección de cobertura vegetal y uso del suelo para los años 2050 y 2070 a partir de los patrones de cambio observados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Chen et al. (2024) desarrollaron una investigación en la República Popular de China con el propósito de evaluar la restauración de la vegetación en zonas post-mineras de oro mediante el uso de imágenes visibles captadas por dron; el estudio incluyó el monitoreo de la cobertura vegetal para determinar los niveles de degradación ambiental y recuperación del ecosistema. Los autores identificaron nueve índices de vegetación visible, entre los cuales el EXG (Excess Green Index) y el VDVI (Visible-Band Difference Vegetation Index) se destacaron por su mayor efectividad para diferenciar áreas con vegetación de aquellas sin cobertura vegetal. Los resultados mostraron una recuperación progresiva en las áreas afectadas por la minería, evidenciada por un incremento en la cobertura vegetal total: 31.47 % en 2019, 34.08 % en 2020 y 42.77 % en 2021, en concordancia con los resultados descritos, los autores concluyeron que las zonas intervenidas experimentaron un proceso de restauración ambiental gradual.

Salinas et al. (2020) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar el cambio de uso de la tierra en el municipio de San Fernando, México, durante el periodo comprendido entre 1987 y 2017; para ello, aplicaron un proceso de clasificación mediante segmentación de imágenes satelitales correspondientes a cuatro intervalos temporales: 1987, 1997, 2007 y 2017; los resultados del análisis multitemporal evidenciaron una disminución en la cobertura vegetal y en las áreas sin vegetación aparente de (-6.53 %) y (-1.71 %) respectivamente; asimismo, las áreas agrícolas mostraron un incremento del 7.6 %, mientras que los asentamientos humanos aumentaron en 0.08 %; los autores concluyeron que la metodología empleada resulta adecuada y práctica para el análisis de los cambios de uso del suelo en territorios de interés, permitiendo obtener información confiable sobre la dinámica del paisaje.

Cleyton et al. (2024) realizaron una investigación con la finalidad de determinar las clases de cobertura vegetal mediante un análisis multitemporal en el periodo 2000, 2010 y 2020 en cultivos, pastos, café, bosques y áreas sin vegetación, además se realizó una predicción de cambio de cobertura para el año 2030 – 2040; lo mencionado se llevó a cabo utilizando imágenes LandSat procesadas en la plataforma Google Earth Engine aplicando el método de clasificación Random Forest; como resultados del estudio se presentó un aumento del 12.6 % los cultivos de café en los años 2000 – 2010 y un 7.4 % para el periodo 2010 – 2020 , asimismo, se predijo un aumentó un 0.68 % para el periodo 2030 – 2040; por otro lado, los bosques y pastos disminuyeron un 5.06 % para el año 2010 y un 2.1 % para el 2020; finalmente los autores concluyeron que la expansión agropecuaria, particularmente del cultivo de café, constituye el principal factor responsable de la pérdida de áreas boscosas y de pastos naturales.

Jara (2023) en su tesis evaluó el impacto ocasionado por la construcción de la carretera Iquitos – Nauta en el cambio de uso del suelo, desarrollando su investigación en tres fases: gabinete, campo y postcampo, mediante la aplicación de encuestas, revisión documental, uso de software especializado y entrevistas, registrando como resultado una pérdida de 23 614.9 ha de bosque primario en el periodo 1985 – 2022, asociada a la reducción de biodiversidad y afectación de ecosistemas naturales, mientras que el área urbana mostró un incremento del 1 %, las áreas sin vegetación un 0.06 %, los cultivos un 3.86 % y los cuerpos hídricos un 0.19 %, concluyendo que la construcción y funcionamiento de nuevas carreteras en territorios amazónicos genera el denominado efecto “espina de pescado”, responsable de la fragmentación del paisaje y la expansión descontrolada de la frontera agrícola.

Zumaeta (2021) ejecutó un estudio con el objetivo de realizar un análisis multitemporal y predictivo de la pérdida de cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo durante el periodo 1998 – 2018, empleando técnicas de teledetección mediante un análisis geoespacial con

imágenes satelitales Landsat, en la microcuenca de estudio se identificaron seis clases de cobertura y uso del suelo, entre las cuales la cobertura boscosa presentó una pérdida de 592.4 ha en los 20 años analizados, y se proyectó una disminución adicional de 129.4 ha para el año 2030, concluyéndose que el factor más influyente en la pérdida de cobertura y el cambio de uso del suelo fue la degradación ocasionada por las actividades humanas, debido a que gran parte de las tierras fueron destinadas al establecimiento de pastos y cultivos agrícolas.

En su investigación Lumba (2023) analizó los cambios de cobertura y uso de la tierra durante el periodo 2000 – 2020, aplicando la metodología CORINE Land Cover (CLC) determinando que 53.82 % del área de estudio presentaron modificaciones en su cobertura, mientras que 46.17 % se mantuvieron sin cambios, identificándose ocho clases principales de cobertura vegetal, entre las cuales las coberturas con mayor incremento fueron los bosques plantados con 14.85 %, los cultivos transitorios con 4.77 % y los pastos con 1.81 %, mientras que las coberturas que registraron una disminución más notoria fueron la vegetación herbácea -16.50 % y la arbustiva con -5.55 %, concluyéndose que el cambio de cobertura y uso de la tierra en el distrito de Chalamarca alcanzó el 53.82 %, siendo el sobrepastoreo, la ampliación de áreas agrícolas y la deforestación de bosques naturales y plantados los principales factores que explican esta transformación.

Vega (2022) en su tesis analizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de la cobertura vegetal del BP Pagaibamba y su zona de amortiguamiento durante el periodo de estudio, a través del software ArcGIS, considerando como unidades de análisis el área del BP Pagaibamba con 2078.38 ha y su zona de amortiguamiento con 4100.1 ha, registrándose en el bosque valores de NDVI de 0.24 en el periodo seco (valor más bajo) y de 0.46 en el año 2020 (valor más alto), mientras que en el periodo lluvioso los valores fueron de 0.19 en 2016 (más bajo) y de 0.46 en 2019 y 2020 (más altos), en tanto que en la zona de amortiguamiento los

valores oscilaron entre 0.25 y 0.39 en el periodo seco, y entre 0.27 en 2016 y 0.40 en 2021 en el periodo lluvioso, concluyéndose que el BP Pagaibamba presentó los valores más bajos de NDVI en los años 2016 y 2017 debido al incendio forestal ocurrido en dichos periodos, evidenciando una recuperación progresiva de la vegetación a partir del 2019, mientras que la zona de amortiguamiento mantuvo una estabilidad relativa, con excepción del año 2016 durante la temporada de lluvias.

Ñontol (2018) en su investigación analizó los cambios de cobertura y uso de la tierra durante el periodo de estudio, empleando imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8, así como la metodología CORINE Land Cover (CLC) en su nivel III, identificando ocho clases de cobertura: tejido urbano continuo con 20.42 ha, pastos cultivados y naturales con 2293.69 ha, áreas agrícolas heterogéneas con 4476.52 ha, bosques familiares con 494.44 ha, hierbas con 7013.66 ha, arbustos con 6546.96 ha, afloramientos rocosos con 620.94 ha y lagunas naturales permanentes con 2.22 ha, determinándose que los cambios registrados abarcaron 9577.22 ha, lo que representa el 44.61 % de la cobertura total del distrito de Asunción, siendo dichos cambios originados principalmente por la expansión de actividades antrópicas relacionadas con la agricultura y el uso intensivo del suelo.

2.2. Bases teórico-científicas

2.2.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Novo et al. (2021) señalan que los sistemas de información geográfica (SIG), junto con la teledetección, se aplican a múltiples ámbitos ambientales y forestales, entre ellos la estimación de emisiones, los inventarios, los análisis multitemporales, el mapeo de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo, la identificación de zonas de productividad, las redes de transporte, la sanidad forestal, la prevención, los estudios hidrológicos y la evaluación y el control de incendios; por su parte Sánchez et al. (2021) sostienen que la adopción de SIG y teledetección,

combinada con programas para analizar patrones espaciales, ha permitido estudios de paisaje a gran escala con mayor precisión temporal, lo que representa un avance sustantivo en la calidad de las investigaciones.

2.2.2. Teledetección

La teledetección consiste en recopilar información sobre objetos mediante la captura y el análisis de datos sin contacto directo con el área observada, empleando sensores remotos (habitualmente montados en satélites o plataformas aéreas) que registran la energía electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre (European Space Agency, 2014). En esa línea, (Romero, 2020) destaca su utilidad para analizar características como la vegetación, la humedad del suelo, la temperatura o la elevación, mientras que Chavarría y Lanuza (2021) la describen como una herramienta reciente, factible y eficiente para la gestión ambiental y de recursos naturales, cuyos procesos abarcan la captura, el procesamiento y el análisis de datos, así como la interpretación y sus aplicaciones en múltiples áreas, por ejemplo, gestión de recursos naturales y monitoreo ambiental.

2.2.3. Índices espectrales

McCullum et al. (2024) definen un índice espectral como una ecuación matemática que se utiliza con cualquier banda espectral de una imagen por píxel. Además puede definirse como ratios simples de banda que resaltan un proceso; es decir, una división pixel a pixel en bandas de una misma imagen. Asimismo, para lograr mejores comparaciones espaciales y temporales es fundamental considerar el ángulo del sol, reducir los efectos de la atmósfera y el ruido de los instrumentos.

Los índices espectrales como NDVI, NDWI SAVI, MNDWI y NDBI pueden contribuir al mapeo automatizado de áreas urbanizadas, interpretación de los que sucede en el suelo y en la vegetación (Hadibasyir et al., 2024). Pueden usarse para evaluar: estado o salud de la

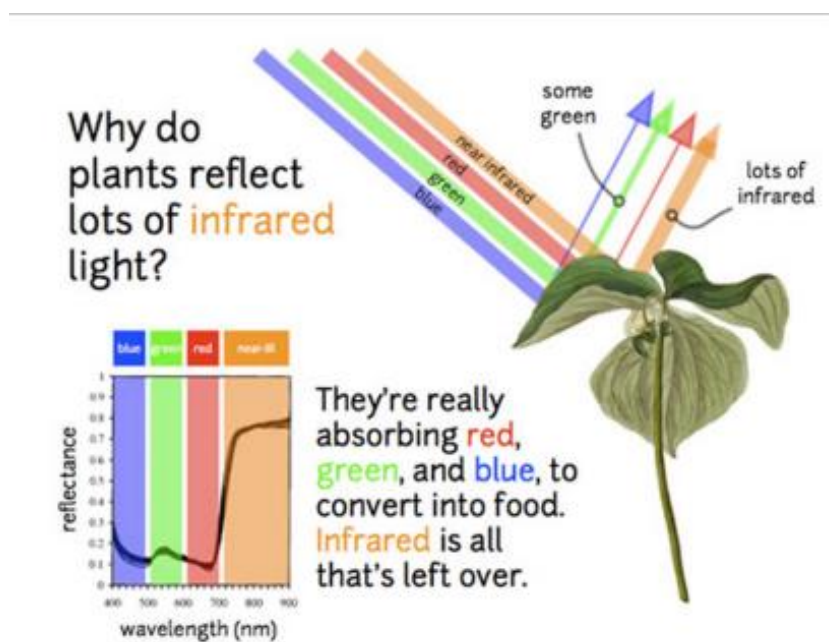
vegetación, mapeo automático del área quemada y la magnitud del incendio, la detección de cuerpos de agua, la biomasa y el mapeo geológico (Aldás, 2019).

2.2.4. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El NDVI es un índice espectral orientado a evaluar el estado, la densidad, el verdor, la presencia y la salud de la vegetación, basado en la relación entre las bandas rojo e infrarrojo cercano, la clorofila absorbe fuertemente en el rojo y la estructura vegetal refleja intensamente en el infrarrojo cercano, por ello su combinación resulta especialmente sensible a variaciones en la actividad fotosintética (McCullum et al., 2024).

Figura 1

Índice de vegetación de diferencia normalizada



Nota. Esquema de la reflectancia de la vegetación en el visible e infrarrojo cercano.

Tomado de McCullum et al. (2024).

2.2.5. Clasificación de imágenes

Según Sánchez et al. (2021) señalan que las imágenes satelitales se utilizan ampliamente para la clasificación de la cobertura vegetal, la identificación de objetos y el mapeo temático a

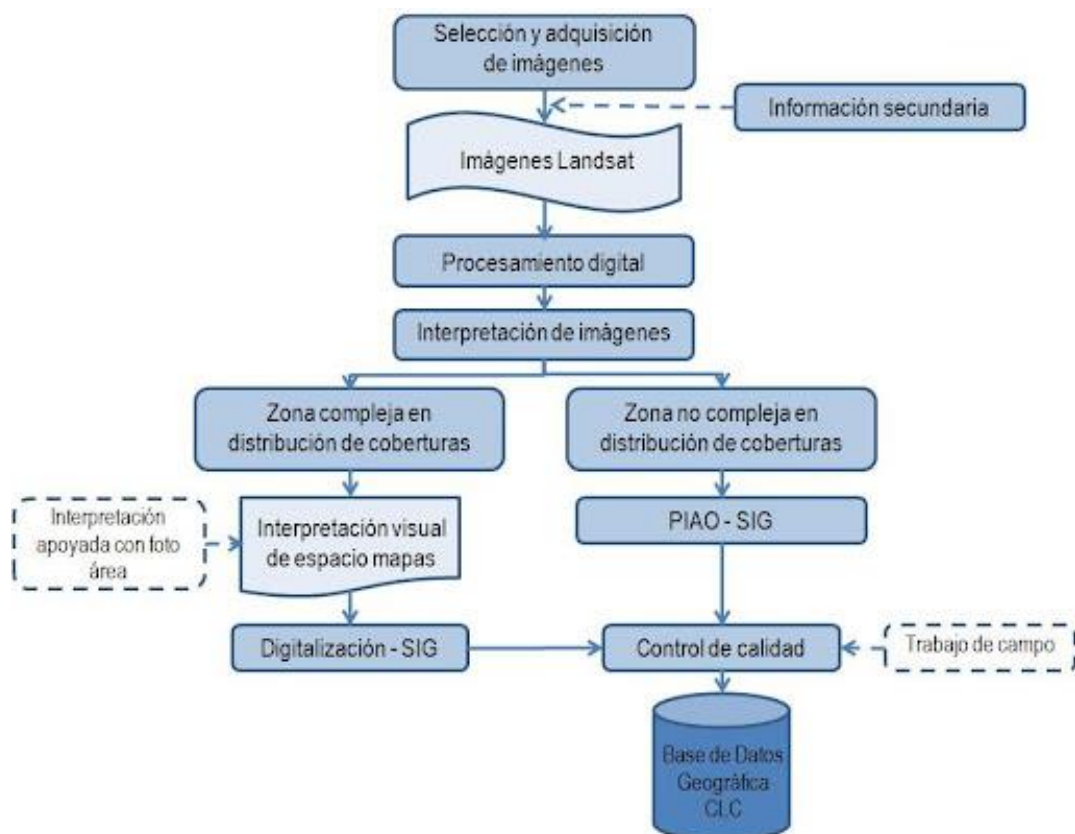
múltiples escalas, es decir, de lo local a lo global, debido a ventajas como la multirresolución, la amplia cobertura espacial, la observación repetitiva y los registros multispectrales e hiperspectrales; en esa línea, sobre la base de imágenes satelitales, existen diversos enfoques de clasificación, entre ellos la clasificación supervisada y la no supervisada.

2.2.6. Metodologías de clasificación de cobertura

Para identificar clases de cobertura y uso del suelo se utilizó la metodología CORINE Land Cover - CLC adaptada para ámbito nacional peruano por el Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015. En la Figura 2 se sintetizan sus etapas principales:

Figura 2

Etapas de la metodología CORINE Land Cover



Nota. Diagrama de las etapas de la metodología CLC. Tomado de European Environment Agency [EEA] (2019).

Para la clasificación de coberturas y usos del suelo en Querocoto, se empleó la metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada para el territorio peruano por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015). Este sistema de clasificación jerárquica permite una descripción estandarizada del territorio a tres niveles, facilitando la comparación y el análisis multitemporal de los cambios en la cobertura tal cual se aprecia en la Tabla 1. En el Nivel 1 se agrupan las categorías generales de uso del suelo, mientras que los Niveles 2 y 3 proporcionan una mayor desagregación temática y precisión en la interpretación. A continuación, se presenta la estructura jerárquica de la metodología CLC adaptada al contexto nacional.

Tabla 1*CORINE Land Cover adaptada para el territorio peruano*

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Áreas industriales o infraestructura	1.2.1 Áreas industriales o comerciales
		1.2.2 Redes vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3 Áreas portuarias
		1.2.4 Aeropuertos
	1.3 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos 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 creativas
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	
	2.2 Cultivos permanentes	
	2.3. Pastos	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
		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
		3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado
	3.2. Bosques plantados	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1. Herbazal
		3.3.2. Arbustal
		3.3.3. Vegetación secundaria o en transición
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea
3.3.5. Arbustal / área intervenida		
3.3.6. Herbazal / área intervenida		
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos

Nota. Adaptado de Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015).

2.2.7. *Análisis multitemporal*

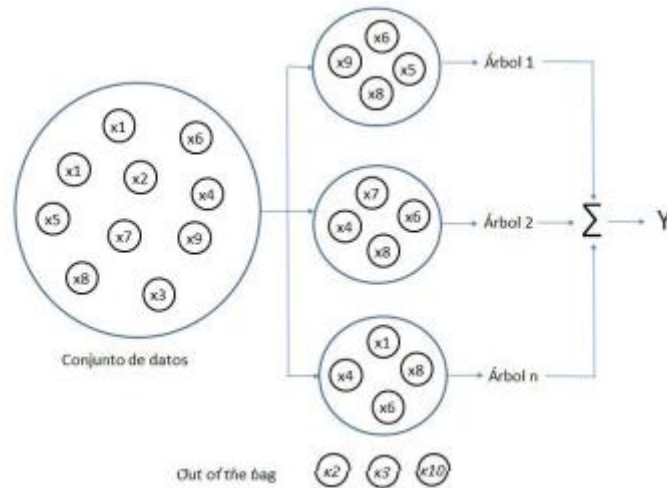
Maquera (2020) define el análisis multitemporal como la comparación de variables a través del tiempo. Para asegurar la comparabilidad entre fechas, es imprescindible aplicar una corrección atmosférica adecuada, ya que las condiciones atmosféricas variables pueden afectar la calidad radiométrica de las imágenes y, por ende, su interpretación. En esta línea, Novo et al. (2022) señalan que los análisis multitemporales se han utilizado ampliamente para la detección de cambios a lo largo de varios años en diversos campos basados en datos de teledetección.

2.2.8. *Random Forest*

Martín (2020) describe *Random Forest* como un algoritmo de aprendizaje automático para clasificación y regresión que se basa en la construcción de múltiples árboles de decisión. Cada árbol se entrena con un subconjunto aleatorio tanto de observaciones como de características, y las predicciones se combinan mediante voto mayoritario (clasificación) o promedio (regresión), lo que produce modelos precisos y robustos frente al sobreajuste. De acuerdo con Espinosa (2020), *Random Forest*, derivado del enfoque propuesto por Breiman es un método supervisado que genera numerosos árboles a partir de muestras de entrenamiento y subconjuntos aleatorios de variables, y luego integra sus resultados para obtener un modelo más robusto que el de cada árbol individual, tal como se ilustra en la Figura 3. Su procedimiento habitual comprende: (a) construir un gran número de árboles con subconjuntos aleatorios de datos y variables y (b) hacer crecer cada árbol hasta su criterio interno para, posteriormente, agregar las salidas.

Figura 3

Esquema del algoritmo Random Forest



Nota. Representación del ensamble de árboles y predicciones. Tomado de Espinosa (2020).

Una de las ventajas de Random Forest es su amplia aplicación en diversos campos; en teledetección, por ejemplo, se emplea para la clasificación de imágenes (Espinosa, 2020). Además, permite clasificar datos generando particiones binarias sucesivas en los nodos de múltiples árboles y, a partir de esa clasificación, realizar predicciones futuras con buen desempeño (Mira & Ahrazem, 2018).

2.2.9. Software TerrSet

Es un software de modelado y monitoreo geoespacial desarrollado por el laboratorio Clark Labs - Universidad Clark, desde ese entonces es usado para analizar datos geoespaciales, la planificación de recursos naturales, la gestión de desastres y la investigación ambiental (Clark Labs, 2020).

TerrSet incorpora el módulo CA-Markov (Cellular Automata–Markov), empleado para proyectar cambios de cobertura y uso del suelo a partir de las transiciones observadas entre dos momentos (T1 y T2). El enfoque combina cadenas de Markov que estiman las probabilidades de transición entre clases con autómatas celulares que incorporan la estructura espacial, lo que

permite simular escenarios plausibles de cambio futuro (Arias-Muñoz et al., 2024; Avalos et al., 2019).

2.3. Definición de conceptos

2.3.1. *Cambio de cobertura y uso del suelo*

De acuerdo con la United States Environmental Protection Agency [EPA] (2024), el uso del suelo es la destinación de un área a fines agrícolas, forestales, industriales o urbanos; en consecuencia, el cambio de uso del suelo alude a la transformación de esos destinos, la cual puede ocurrir a distintas escalas y generar impactos sobre la calidad del suelo, del aire y del agua, la generación de residuos, el funcionamiento de las cuencas hidrográficas, la extensión y calidad del hábitat de la vida silvestre, la flora, el clima y la salud humana. Complementariamente, Zhang et al. (2022) definen la cobertura vegetal como la proporción del área cubierta por plantas respecto del área total de un espacio incluyendo pastos, arbustos y árboles, asimismo, la consideran un indicador clave para evaluar el uso de la tierra y su dinámica en relación con factores climáticos como la evapotranspiración y la temperatura, por lo que su seguimiento resulta fundamental en estudios de cambio de cobertura y uso del suelo.

2.3.2. *Bosque denso alto*

Formación boscosa compuesta por árboles de porte alto y follaje denso que cubren más del 70 % del suelo, con dosel cerrado y elevada diversidad biológica. Caracterizada por árboles de porte alto y una cobertura foliar elevada que favorece microclimas húmedos; desempeña funciones críticas en la regulación hídrica, preservación de biodiversidad y almacenamiento de carbono, típico de las zonas montañas húmedas del norte del Perú y se reconoce por su alta riqueza de especies y estructura compleja (Curatola, et al, 2023).

2.3.3. *Bosque abierto bajo*

Ecosistema caracterizado por la presencia de árboles medianos y dispersos, con coberturas de copas entre el 30 % y 70 %, compuesta por árboles y arbustos de porte medio o bajo; suele aparecer en franjas de transición entre bosques cerrados y áreas agrícolas o pastizales, y frecuentemente refleja estados de degradación, fragmentación o uso tradicional de biomasa (leña, pastoreo), es una transición entre el bosque denso y las zonas agropecuarias, y suele originarse por procesos de fragmentación o perturbación antrópica (Tito, et al., 2022).

2.3.4. *Herbazal*

Cobertura integrada por especies herbáceas o gramíneas altoandinas (pajonales), los herbazales comprenden formaciones vegetales dominadas por especies herbáceas altoandinas, incluyendo extensos pajonales característicos del ecosistema de jalca, cumplen una función ecológica esencial en la infiltración de agua y la conservación del suelo; su dinámica puede verse afectada por sobrepastoreo, quema y cambios en el uso del suelo (Vásquez, et al, 2023).

2.3.5. *Arbustal*

Formaciones vegetales dominadas por especies leñosas de porte bajo (menor a 5 m de altura), generalmente secundarias, en recuperación o de condiciones edáficas/uso del suelo que impiden el desarrollo de bosques cerrados que cumplen funciones de estabilización del suelo, refugio de fauna y regeneración de ecosistemas degradados (Gonzalez, 2020).

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Formulación de la hipótesis*

Existe un cambio significativo en la cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, determinado mediante el modelo CORINE Land Cover (CLC) durante el periodo 2000–2024,

mostrando una tendencia de transformación que, según la proyección realizada, podría mantenerse e intensificarse hacia los años 2050 y 2070.

2.5. Variables e indicadores

2.5.1. Variable independiente

- ✓ Cambio de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto.

2.5.2. Variable dependiente

- ✓ Cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto.
- ✓ Proyección de cobertura y uso del suelo.

En la presente investigación se definieron las variables e indicadores en correspondencia con los objetivos formulados y el enfoque metodológico aplicado, orientado a analizar los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto durante el periodo 2000–2024 y su proyección al 2050 y 2070. La variable dependiente corresponde al cambio de cobertura y uso del suelo, la cual tuvo como una de sus dimensiones la proyección de cobertura, al representar la continuidad y tendencia del mismo fenómeno en el tiempo. Por su parte, la variable independiente hizo referencia a la cobertura y uso del suelo del distrito, que constituye la base sobre la cual se realizó la clasificación y el análisis multitemporal. En la Tabla 2 se detallan las variables, dimensiones, indicadores e instrumentos utilizados en el estudio, los cuales permitieron garantizar la coherencia entre el enfoque metodológico, las herramientas geoespaciales y los resultados obtenidos.

Tabla 2*Descripción de variables e indicadores*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos / Técnicas
Variable dependiente: Cambio de cobertura y uso del suelo (2000 – 2024)	Variación del área por clase CLC, dirección del cambio	Área por clase (ha y %), matriz de transición 2000–2024, exactitud de clasificación (Índice Kappa)	QGIS, Clasificación Random Forest validación con matriz de confusión
Variable dependiente: Proyección de cobertura y uso del suelo (2050 y 2070)	Cambio proyectado por clase CLC	Área proyectada por clase (ha y %); probabilidades de transición CA - Markov	TerrSet, CA-Markov
Variable independiente: Cobertura y uso del suelo (categorías CLC)	Estructura de clases CLC (Nivel III)	Área por clase (ha); proporción (%) y número de clases	QGIS CORINE Land Cover (CLC) adaptado a Perú (MINAM, 2015)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

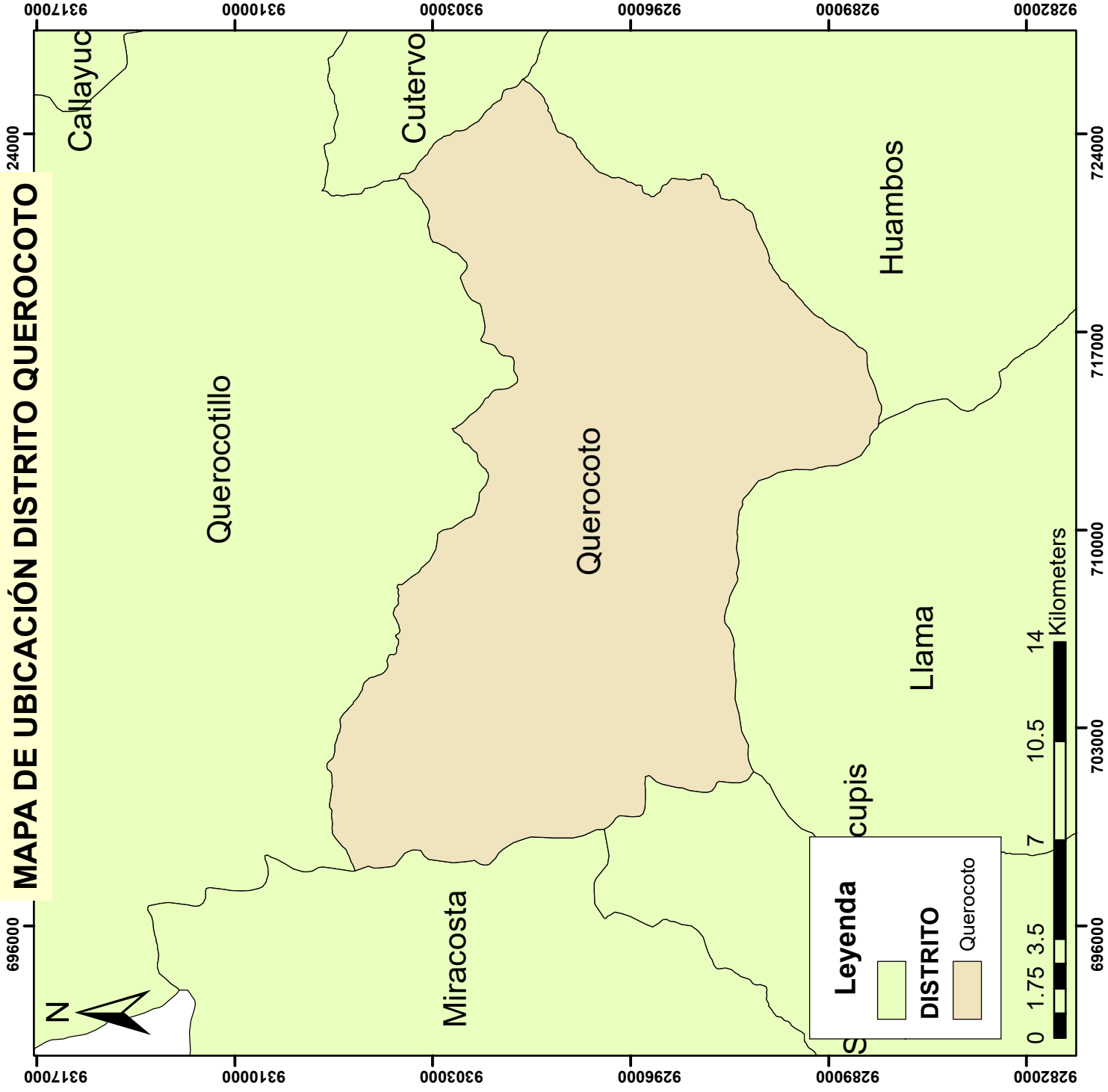
La investigación se llevó a cabo en el distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento Cajamarca, cuenta con una superficie total de 30 000 ha (Distrito.pe, 2021). Limita con los siguientes distritos: por el norte y por el oeste con Querocotillo (provincia de Cutervo), por el sur con Llama y Huambos y por el oeste con Miracosta, sus coordenadas geográficas proyectadas – UTM 717376.21 Este y 9296643.98 Sur situado a 2445 m.s.n.m. con una población de 8674 habitantes; las temperaturas fluctúan entre los 6 y 22 °C (Barboza, 2021).

Durante el desarrollo del estudio, se efectuaron visitas de campo al área de investigación con el propósito de verificar la correspondencia de las coberturas identificadas mediante la clasificación, observando directamente los principales tipos de uso del suelo y sus condiciones actuales. Esta verificación permitió corroborar la precisión cartográfica y fortalecer la interpretación de los resultados obtenidos en gabinete, la cual se detalla en el capítulo de resultados y marco metodológico.

Figura 4

Mapa de ubicación del distrito de Querocoto

MAPA DE UBICACIÓN DISTRITO QUEROCOTO



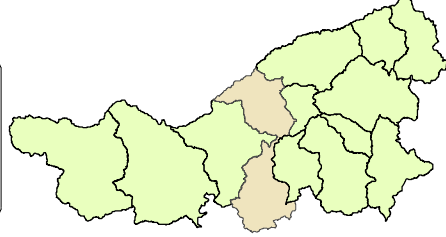
Leyenda

- DISTRITO
- Querocoto

CAJAMARCA



CHOTA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS EP INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL		Dpto: Cajamarca	Mapa: 01
UTM: WGS 84	Cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, Chota, Perú: una proyección al 2050 y 2070	Prov: Chota	
Zona: 17 S		Dist: Querocoto	
Fecha: Dic., 25			

3.2. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo longitudinal/evolutivo ya que se analizó de cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto en el periodo 2000 – 2024, además de la proyección de cobertura vegetal para los años 2050 – 2070.

3.3. Diseño de la investigación

El presente estudio fue de carácter cuantitativo, con un diseño de investigación no experimental y de tipo longitudinal, enfocado en un análisis evolutivo. Este diseño se sustentó en la clasificación propuesta por Hernández et al. (2018), quienes señalan que el enfoque cuantitativo busca medir y analizar fenómenos observables de manera objetiva, mientras que el diseño no experimental permite estudiar los hechos en su contexto real, sin intervenir en ellos. De esta manera, se observaron los cambios producidos en el periodo establecido tal como se manifiestan de forma natural, sin manipular las variables de estudio. Los datos fueron procesados y analizados, obteniéndose mapas temáticos que evidencian los mencionados cambios.

3.4. Métodos de investigación

Como primer paso, se efectuó la adquisición de imágenes satelitales provenientes de los sensores Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI/TIRS, descargadas desde la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), correspondientes a los años 2000, 2012 y 2024. Para su selección se consideró la época de adquisición (preferentemente durante la estación seca) y un porcentaje mínimo de nubosidad, con el fin de garantizar la calidad espectral de las imágenes.

Posteriormente, se ejecutó el preprocesamiento de las imágenes, que comprendió la corrección atmosférica y la extracción del área de estudio, delimitada de acuerdo con los límites político-administrativos del distrito de Querocoto.

A continuación, se realizó la clasificación supervisada con el objetivo de identificar y discriminar las distintas coberturas y usos del suelo. Para ello, se empleó el algoritmo Random Forest, debido a su alta precisión en la interpretación de datos multiespectrales. Asimismo, se aplicó la metodología CORINE Land Cover (CLC-Perú) adaptada por el Ministerio del Ambiente (MINAM), que permitió estandarizar las categorías temáticas y facilitar la comparación multitemporal. Con base en estos resultados, se elaboraron y editaron los mapas temáticos de cobertura y uso del suelo para cada año de análisis.

La verificación de la clasificación se complementó con la evaluación de precisión cartográfica en campo, lo que permitió validar las clases asignadas y ajustar posibles inconsistencias detectadas durante el procesamiento, asimismo, se realizó identificación de especies por clase de cobertura a través de observación directa y contrastación con información de estudios previos al área de influencia para su respectiva validación.

Los datos obtenidos del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 2000–2024 fueron utilizados para realizar la proyección futura de los escenarios al 2050 y 2070, mediante el modelo de simulación CA–Markov implementado en el software TerrSet. Este modelo combinó cadenas de Markov con autómatas celulares, permitiendo estimar la probabilidad de cambio espacial de cada cobertura en función de las tendencias históricas.

Finalmente, se efectuó la evaluación estadística de la precisión mediante la matriz de confusión y el índice Kappa (K). La matriz de confusión permitió verificar la exactitud de clasificación entre las coberturas estimadas y las observadas, mientras que el índice Kappa determinó el nivel de concordancia global, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

La población estuvo constituida por todo el territorio (superficie total de 30 000 ha) del distrito de Querocoto.

3.5.2. Muestra

Debido a que el estudio abarcó la totalidad del territorio del distrito de Querocoto, la muestra se asumió equivalente al 100 % de la población, es decir, una superficie aproximada de 30 000 ha, la cual se empleó íntegramente para la proyección de cobertura y uso del suelo.

3.5.3. Muestreo

Se aplicó un muestreo selectivo y dirigido, mediante la recolección manual de puntos de control distribuidos estratégicamente dentro del área de estudio. La selección de estos puntos se basó en criterios de accesibilidad, representatividad espacial y homogeneidad espectral de cada tipo de cobertura, observada en una composición RGB de bandas de color natural (RED – GREEN – BLUE).

Para cada punto de control se verificó que la firma espectral correspondiera al tipo de cobertura identificado (bosque, pasto, cultivo, arbustal, herbazal, área urbana, etc.), priorizando aquellos sectores con características visuales claramente diferenciables y baja presencia de nubosidad o sombras. Los puntos obtenidos fueron posteriormente utilizados para entrenar el algoritmo de clasificación supervisada y, de manera complementaria, para la validación de la exactitud cartográfica, tal como se detalla en el apartado 3.6. Evaluación de precisión.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para compilar los datos necesarios para esta investigación se hizo uso de los siguientes instrumentos:

Laptop portátil con acceso a internet para adquirir el DEM – modelo de elevación digital adquirido de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el DEM de tipo SRTM (Misión de Topografía Radar del Transbordador Espacial) con resolución espacial de 30 m, además de una cuenta registrada en la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS para adquirir las imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8.

La información base fue recolectada a partir de diversas plataformas de libre acceso, entre ellas el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2024), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2023), el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey, 2024), la Municipalidad Distrital de Querocoto (2022), el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP, 2019) y el Gobierno Regional de Cajamarca (2011). Asimismo, se emplearon publicaciones científicas y herramientas informáticas como QGIS y Microsoft Office, que permitieron procesar la información y elaborar los mapas temáticos correspondientes.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos satelitales se realizaron empleando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de teledetección, a fin de identificar, clasificar y evaluar las coberturas y usos del suelo del distrito de Querocoto en el periodo de estudio.

3.7.1. Adquisición y selección de imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes multiespectrales provenientes de los sensores Landsat 5 TM (para los años 2000 y 2012) y Landsat 8 OLI/TIRS (para el año 2024), las cuales fueron descargadas de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), a través del portal EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) (U.S. Geological Survey, 2024). Esta fuente proporciona acceso gratuito a imágenes satelitales de la serie Landsat, las cuales son ampliamente utilizadas para estudios de cobertura y uso del suelo debido a su resolución espacial y temporal.

Para la selección de imágenes satelitales se siguió las recomendaciones de Perea-Ardila et al., (2022) en donde menciona que las imágenes deben tener nubosidad menor o igual al 10%, además de la imagen capturada no debe corresponder a épocas lluviosas; esto permitió trabajar con una imagen clara y óptima para realizar un adecuado análisis y clasificación de la cobertura y uso del suelo. En la Tabla 3 se presenta las características de las imágenes seleccionadas.

Tabla 3

Características de las imágenes satelitales adquiridas

Imagen Satelital	Año	Resolución (m)
Landsat 5 TM	2000	30 x 30
Landsat 5 TM	2012	30 x 30
Landsat 8 OLI/TIRS	2024	30 x 30

Estas imágenes fueron la base para el análisis multitemporal y la proyección de escenarios futuros.

3.7.2. Preprocesamiento de imágenes satelitales

La etapa de preprocesamiento de imágenes satelitales se realizó a través de la corrección atmosférica mediante la metodología Chávez o DOS1 (Prieto-Amparan et al., 2018). Esto nos permitió corregir geométrica y radiométricamente píxeles de las imágenes satelitales de manera que se evite trabajar con algunas distorsiones en la atmósfera o posibles errores del sensor; para ello se aplicó la siguiente expresión matemática:

$$L = \frac{DN-offset}{gain_2} \quad (1)$$

$$L = GrescaleDN + Brescale \quad (2)$$

$$L = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} \right) * (DN - DN_{min}) + L_{min} \quad (3)$$

Posteriormente, se realizó la extracción del área de estudio, delimitando los límites político-administrativos del distrito de Querocoto.

3.7.3. Clasificación supervisada

Una vez preprocesadas las imágenes, se ejecutó la clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest para la clasificación supervisada con la finalidad de identificar los tipos de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto. La clasificación supervisada se ejecutó a través de los siguientes pasos:

✓ Segmentación

La segmentación de la imagen satelital se realizó con la finalidad de separar de manera eficaz áreas adyacentes que espectralmente tienen gran similitud, de manera que la segmentación efectuada sea consistente con los bordes en el mosaico de la imagen (Maquera, 2020).

✓ **Clasificación de imágenes satelitales**

Para la clasificación de la cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto, se utilizó una rama de la IA, “machine learning” la mencionada clasificación corresponde al periodo 2000 – 2024; utilizando el algoritmo Random Forest y la metodología de clasificación CORINE Land Cover – CLC (Purwanto et al., 2023).

✓ **Identificación de clases de cobertura y uso del suelo**

Para la identificación las clases de cobertura y uso del suelo se realizó a través de la metodología CORINE Land Cover - CLC del MINAM, la mencionada metodología internacional fue adaptada para el Perú en el 2014, lo que permitió identificar el número y tipos de cobertura en el distrito de Querocoto las cuales se detallan en la Tabla 1.

✓ **Cambio de la cobertura y uso del suelo**

Para determinar la dinámica de cambio, se realizaron comparaciones bivariadas entre los periodos 2000 - 2012 y 2012 - 2024, además de un análisis acumulado para el intervalo total 2000 - 2024. A partir de estas comparaciones se obtuvieron las superficies (en ha) y porcentajes de cada clase de cobertura, con lo cual fue posible identificar las ganancias, pérdidas y transiciones netas entre categorías tal y como se detalla en la Tabla 1, siguiendo los lineamientos del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015) y de la metodología CORINE Land Cover - CLC - Perú.

✓ **Generación de mapas de cambio**

A partir de las clasificaciones obtenidas para los años 2000, 2012 y 2024, se elaboraron los mapas de cambio de cobertura y uso del suelo correspondientes a los periodos 2000 - 2012 y 2012 - 2024. Estos mapas se generaron mediante la comparación pixel a pixel de las coberturas clasificadas, identificando las transiciones espaciales entre categorías, tales como la conversión de bosques en áreas agrícolas, expansión de pastos o sustitución de vegetación natural por

zonas antrópicas. El análisis de estas transiciones permitió visualizar la dinámica territorial del distrito de Querocoto y cuantificar los patrones de ganancia, pérdida y permanencia de cada tipo de cobertura. Los resultados gráficos derivados de este proceso constituyeron la base para el análisis estadístico y la modelación de escenarios futuros.

Los valores obtenidos fueron organizados en Tablas estadísticas elaboradas en Microsoft Excel, presentando los resultados por tipo de cobertura y periodo de análisis. A su vez, estos datos sirvieron como insumo principal para la modelación del cambio en el software TerrSet, empleando el módulo CA–Markov, que utilizó las matrices de transición derivadas de los mapas 2000–2012 y 2012–2024 para generar la proyección hacia los años 2050 y 2070.

✓ **Validación en campo**

Con el propósito de verificar la precisión temática de la clasificación supervisada y garantizar la fiabilidad de los resultados, se llevó a cabo una validación en campo en diferentes zonas del distrito de Querocoto. Durante esta etapa se recopilaron puntos de control georreferenciados, los cuales fueron contrastados con las categorías de cobertura obtenidas en la clasificación.

La selección de los puntos de verificación se realizó considerando la representatividad espacial de cada tipo de cobertura (bosque, cultivo, pasto, arbustal, herbazal, zona urbana, etc.), priorizando áreas accesibles y de fácil identificación visual. La información recolectada permitió confirmar la correspondencia entre los valores espectrales y las coberturas reales, así como ajustar posibles errores de clasificación detectados en las imágenes satelitales. Los datos de campo fueron integrados en el procesamiento de la información en el software QGIS y empleados como referencia para la evaluación de precisión cartográfica mediante la matriz de confusión y el índice Kappa, asegurando la consistencia y calidad de los mapas generados.

Durante la etapa de validación en campo (junio - julio), se realizaron observaciones directas y registros fotográficos de las principales coberturas presentes, incluyendo cultivos agrícolas, pastizales y áreas de bosque, con el fin de corroborar la información derivada de las imágenes satelitales.

✓ **Identificación de especies**

Durante la fase de verificación en campo se realizó el reconocimiento e identificación de las principales especies vegetales representativas de cada categoría de cobertura (bosque denso alto, bosque abierto bajo, arbustal y herbazal). La identificación preliminar de algunas de las especies detalladas se efectuó mediante observación directa; complementariamente, se contrastó la información con estudios sobre la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) Cajamarca, además de línea base y literatura especializada la vegetación altoandina del Bosque de Protección Pagaibamba y su zona de influencia (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).

3.7.4. Proyección de los cambios de cobertura y uso del suelo

La proyección de cambios de cobertura y uso del suelo para el distrito de Querocoto, Chota, Perú se llevó a cabo siguiendo lo descrito por González, (2020) en su investigación utilizó el modelo basado en “Cadenas de Markov” y “Cellular Automata”; procesadas en el software TerrSet que permitió el monitoreo y modelación de los cambios de uso del suelo, variaciones climáticas y ecosistémicas.

Las matrices de cambio obtenidas se utilizaron como base para la proyección futura de coberturas al 2050 y 2070, empleando el modelo CA–Markov del software TerrSet. Este modelo integra los principios de las cadenas de Markov, que estiman las probabilidades de transición entre clases, y los autómatas celulares, que simularon la distribución espacial del

cambio. De esta forma, se generaron escenarios de proyección bajo el supuesto de continuidad de las tendencias observadas entre 2000 y 2024.

✓ **Generación de mapas de proyección**

A partir de los mapas clasificados y validados correspondientes a los años 2000, 2012 y 2024, se realizó la proyección futura de la cobertura y uso del suelo hacia los años 2050 y 2070. Este modelo combina el análisis estadístico de cambio basado en cadenas de Markov con la distribución espacial mediante autómatas celulares, lo que permitió estimar la probabilidad de transición de cada clase de cobertura a lo largo del tiempo. Para la proyección, se generaron las matrices de transición a partir de los mapas generados para los años 2000 - 2012 y 2012 - 2024, que sirvieron como base para proyectar los posibles escenarios futuros considerando la continuidad de las tendencias actuales. Finalmente, se elaboraron los mapas de proyección al 2050 y 2070 que se muestran en el capítulo de resultados.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los cambios de cobertura y uso del suelo se basó en las clasificaciones obtenidas para los años 2000, 2012 y 2024, seleccionados como puntos de referencia temporal representativos del periodo de estudio.

El análisis estadístico se desarrolló con el propósito de cuantificar y evaluar los cambios espaciales y temporales en las coberturas y usos del suelo del distrito de Querocoto. Para ello, se emplearon los resultados de la clasificación supervisada correspondiente a los años 2000, 2012 y 2024, los cuales permitieron establecer una secuencia cronológica de transformación territorial.

El procedimiento consistió en determinar las variaciones absolutas y relativas (en ha y porcentaje) de cada categoría de cobertura, identificando los procesos de expansión, reducción y estabilidad durante los años 2000-2012, 2012-2024 y en el conjunto del periodo 2000–2024.

Estos cálculos posibilitaron reconocer las tendencias predominantes en el paisaje, especialmente aquellas asociadas a la pérdida de bosques y al incremento de coberturas antrópicas, como pastos y áreas agrícolas. Finalmente, se realizó una verificación de exactitud mediante la matriz de confusión y el índice Kappa (K), los cuales permitieron evaluar la consistencia de la clasificación y el nivel de concordancia entre los valores observados y los predichos.

3.8.1. Matriz de confusión

Herramienta que se empleó para evaluar el rendimiento o la precisión de un modelo de clasificación, como las redes neuronales, al comparar los valores reales de los datos con las clases predichas por el modelo (Adlia y Mahmoud, 2024).

Es un método clásico en aprendizaje automático supervisado para medir la calidad y comparar información clasificada, además, identifica el grado de confusión del algoritmo dentro de diferentes clases y es independiente del algoritmo de clasificación (Xu et al., 2020). La matriz de confusión o denominada también como matriz de error, es una Tabla de contingencia y una herramienta estadística para corroborar la exactitud de los datos originados por los SIG constituido por filas y columnas (Ariza et al., 2018).

3.8.2. Índice Kappa (k)

En la presente investigación fue preciso verificar o validar la clasificación generada de la cobertura y uso del suelo haciendo uso del Índice Kappa que establece un rango de valores de 0 a 1, donde el 0 indica ninguna capacidad y 1 denota la capacidad perfecta del clasificador (Zafar et al., 2024). El coeficiente kappa (κ) puede tener valores que van desde -1 hasta +1. Un valor más cercano a +1 indica un mayor nivel de precisión en los resultados. En cambio, cuando κ es igual a 0, significa que la coincidencia observada es igual a lo que se esperaría simplemente por azar. El Índice Kappa permitió comprobar la similitud entre dos o más clasificaciones

generadas y de esta manera corroborar las etapas de campo y gabinete; para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$k = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (1)$$

$$P_0 = A_1 + B_2 + C_3/M \quad (2)$$

$$P_e = (EP_1 * EU_1) + (EP_2 * EU_2) + (EP_3 * EU_3) \quad (3)$$

k = Índice Kappa

P_0 : N° de aciertos, N° total de clases

P_e : cálculo generado de la matriz de confusión

El valor de “ k ” mide la precisión de la clasificación realizada y de esta manera determinar un rango óptimo de aceptación, es decir, grado de validez a la clasificación, los mencionados rangos de valores “ k ” se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4

Valoración del coeficiente Kappa (K)

Coeficiente Kappa (K)	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.02	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Nota: Rango de valores del índice Kappa. Tomado de Landis y Koch (1977)

Este análisis estadístico permitió no solo validar la fiabilidad de los mapas generados, sino también interpretar las tendencias de cambio en la cobertura y uso del suelo, información esencial para sustentar la proyección futura de los años establecidos.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de clases de cobertura y uso del suelo según CORINE Land Cover

La identificación de las clases de cobertura y uso del suelo se realizó mediante la metodología CORINE Land Cover del MINAM adaptada para Perú, complementada con la verificación de campo complementadas con análisis visual de imágenes satelitales, estas visitas permitieron contrastar la información generada por la clasificación supervisada con la realidad territorial, fortaleciendo la validación del modelo aplicado a la totalidad del distrito. Las clases de cobertura identificadas fueron: tejido urbano continuo (Tu), áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Aem), pastos (Pa), mosaicos de cultivos (Mc), bosque denso alto (Bda), bosque abierto bajo (Bab), herbazal (He), arbustal (Ar) y ríos (Ri). En dichas observaciones se registraron fotografías georreferenciadas y se identificaron especies de flora y fauna representativas y predominantes. En la Tabla 5 se muestra las categorías identificadas:

Tabla 5

Categorías de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bda
		3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	He
		3.3.2 Arbustal	Ar
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri

Previo a la interpretación de las categorías de cobertura y uso del suelo, se efectuó una validación en campo con el propósito de corroborar la precisión temática de la clasificación supervisada y garantizar la consistencia de los resultados obtenidos.

Durante esta etapa, se recorrieron distintos sectores del distrito de Querocoto, registrándose puntos de control georreferenciados, observaciones directas y evidencias fotográficas de las principales coberturas identificadas: áreas agrícolas, pastizales, bosques, arbustales, herbazales, zonas urbanas y mineras.

Estos registros permitieron verificar la correspondencia entre las coberturas clasificadas y las condiciones reales del terreno, confirmando la distribución espacial y las características propias de cada categoría. De esta manera, la información derivada de las imágenes satelitales fue contrastada y complementada con observación directa, fortaleciendo la interpretación de los resultados presentados a continuación. Las categorías identificadas en el Nivel III, según la Tabla 5, se detallan a continuación:

4.1.1. Tejido urbano continuo (Au)

El tejido urbano continuo en el distrito de Querocoto se concentra principalmente en la capital distrital y en algunos centros poblados aledaños, evidenciando un patrón de crecimiento compacto y lineal a lo largo de las principales vías de comunicación. De acuerdo con las observaciones realizadas durante la validación en campo y la interpretación de las imágenes satelitales, se identificó una expansión urbana moderada, asociada a la mejora progresiva de los servicios básicos y la conectividad vial hacia los sectores rurales. Este patrón de expansión urbana moderada en Querocoto coincide con estudios recientes en zonas periurbanas del valle andino de Cajamarca, donde la urbanización de tierras agrícolas ha sido impulsada por la presión del mercado del suelo y por la normativa permisiva (Moschella, 2025).

A continuación, se detallan los lugares visitados en la validación de campo, centro poblado El Campamento (Figura 5), centro poblado El Rocoto (Figura 6), capital de distrito Querocoto

(Figura 7) y centro poblado Pacopampa (Figura 8) anexo a ello las fotografías correspondientes.

Figura 5

Tejido urbano continuo, centro poblado El Campamento



Figura 6

Tejido urbano continuo, centro poblado El Rocoto



Figura 7

Tejido urbano continuo, Querocoto capital del distrito



Figura 8

Tejido urbano continuo, centro poblado Pacopampa



4.1.2. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Aem)

En el distrito de Querocoto, esta categoría corresponde principalmente a las zonas de actividad minera asociadas al Proyecto Río Tinto – La Granja, localizado en el centro poblado La Granja, jurisdicción del distrito. A partir del análisis de imágenes satelitales Landsat y de las observaciones realizadas durante la validación en campo, se identificaron áreas de remoción

de cobertura vegetal debido a la exploración minera, Este proyecto, orientado a la extracción de cobre, constituye una de las iniciativas con mayor potencial económico en la provincia de Chota y forma parte del conjunto de concesiones mineras registradas en la región Cajamarca (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2023).

Figura 9

Zona de extracción minera Río Tinto - La Granja



4.1.3. Pastos (Pa)

La interpretación de imágenes y las observaciones de campo evidencian lo siguiente: los pastos naturales y cultivados abarcan amplias extensiones del distrito de Querocoto, predominando en zonas de media y alta pendiente, donde el relieve y las condiciones climáticas favorecen su desarrollo. Esta cobertura cumple un papel esencial en la actividad ganadera, una de las principales fuentes económicas locales, situación también reportada en otras zonas altoandinas de Cajamarca (Herrera, 2019).

Las principales especies identificadas para la cobertura pastos fueron las siguientes:

- “Kikuyu” *Cenchrus clandestinum* Hochst ex Chiov
- “Raigrás” *Lolium perenne* L.

- “Trébol blanco” *Trifolium repens* L.
- “Pasto horqueta” *Paspalum notatum* Flüggé
- “Gramma” *Cynodon dactylon* (L.) Pers.
- “Lengua de vaca” *Rumex acetosella* L.

La identificación de estas especies presentes en la cobertura pastos se realizó a través de observación directa en campo y de información proveniente de la línea base Bosque de Protección Pagaibamba (Roncal, 2018; SERNANP, 2019).

Figura 10

Área de pastos naturales – zonas aledañas al centro poblado Pacopampa



Figura 11

Área de pastos naturales - centro poblado Paraguay



Figura 12

Área de pastos naturales – comunidad La Pampa



4.1.4. Mosaico de cultivos (Mc)

El mosaico de cultivos constituye una de las coberturas más representativas del distrito de Querocoto, reflejando el predominio de la agricultura familiar de subsistencia. En esta categoría se incluyen pequeñas parcelas agrícolas intercaladas con áreas de descanso o barbecho, conformando un patrón heterogéneo propio de las zonas rurales andinas.

- “Maíz” *Zea mays* L.
- “Papa” *Solanum tuberosum* L.
- “Oca” *Oxalis tuberosa* Molina
- “Trigo” *Triticum aestivum* L.
- “Arveja” *Pisum sativum* L.
- “Zapallo” *Cucurbita máxima* L.
- “Granadilla” *Passiflora ligularis* Juss.

La validación en campo permitió identificar las principales especies enlistadas para la cobertura mosaico de cultivos, como parte de la producción agrícola de la zona.

Figura 13

Zona de cultivo de “maíz” *Zea mays* – áreas aledañas al centro poblado Campamento

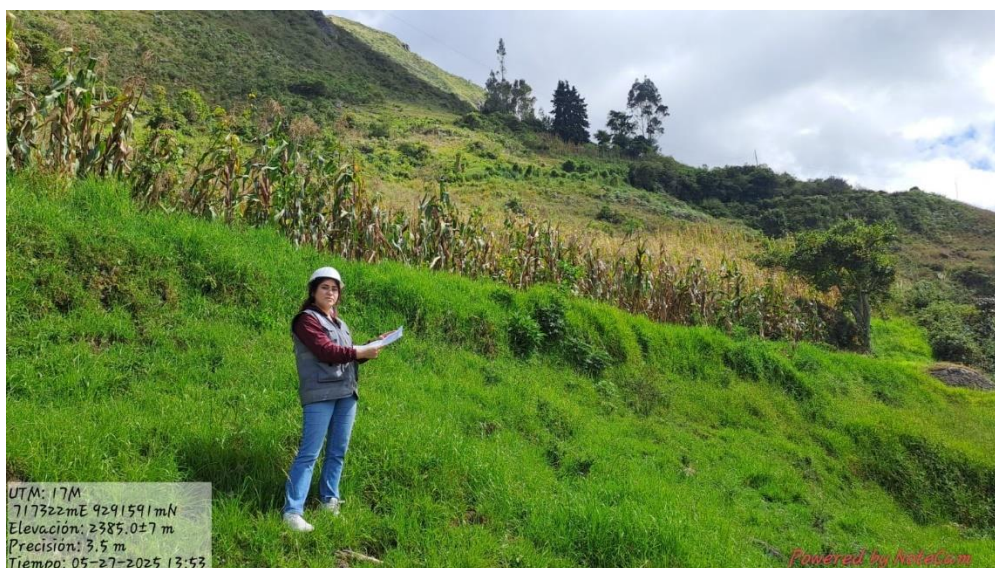


Figura 14

Zona de cultivo de “granadilla” *Passiflora ligularis* – comunidad Succhuran



4.1.5. Bosque denso alto (Bda)

El bosque denso alto se distribuye principalmente en las zonas elevadas del distrito de Querocoto, por encima de los 2800 m.s.n.m., donde las condiciones de humedad y temperatura favorecen el desarrollo de la vegetación andina montana . De acuerdo con la interpretación de imágenes satelitales y las observaciones de campo, se evidenció que estos bosques corresponden a relictos de ecosistemas nativos con presencia de especies predominantes como:

- “Árbol de la quina” *Cinchona officinalis* L.
- “Aliso” *Alnus acuminata* Kunth
- “Romerillo” *Podocarpus oleifolius* D.Don
- “Ocotea” *Ocotea arnottiana* Aubl.
- “Lanche” *Myrcianthes* sp. O.Berg
- “Babilla” *Delostoma integrifolium* D.Don
- “Queñua” *Polylepis* Ruiz & Pav
- “Roble” *Ocotea arnottiana* (Nees) van der Werff
- “Orquídea” *Epidendrum* sp.

- “Pumapara” *Persea sp.*
- “Lalush” *Clusia pseudomangle* Planch. y Triana
- “Saucecillo” *Podocarpus oleifolius* L'Hér. Ex Pers.
- “Chonta” *Cyathea arborea* L.

La identificación de estas especies presentes en la cobertura de bosque denso alto se realizó a través de observación directa en campo y fue corroborada con información proveniente de la ZEE de Cajamarca y línea base Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).

Figura 15

Área de bosque denso alto



4.1.6. Bosque abierto bajo (Bab)

El bosque abierto bajo se localiza principalmente en zonas de transición entre las áreas agrícolas y los bosques densos, presentando una cobertura vegetal menos compacta y con una mayor proporción de claros y suelos expuestos. De acuerdo con la interpretación de imágenes satelitales y observaciones de campo, este tipo de bosque cumple un papel importante como

franja de amortiguamiento ecológico, similar con lo reportado en otras áreas andinas de Cajamarca afectadas por la expansión agropecuaria (Gonzalez, 2020).

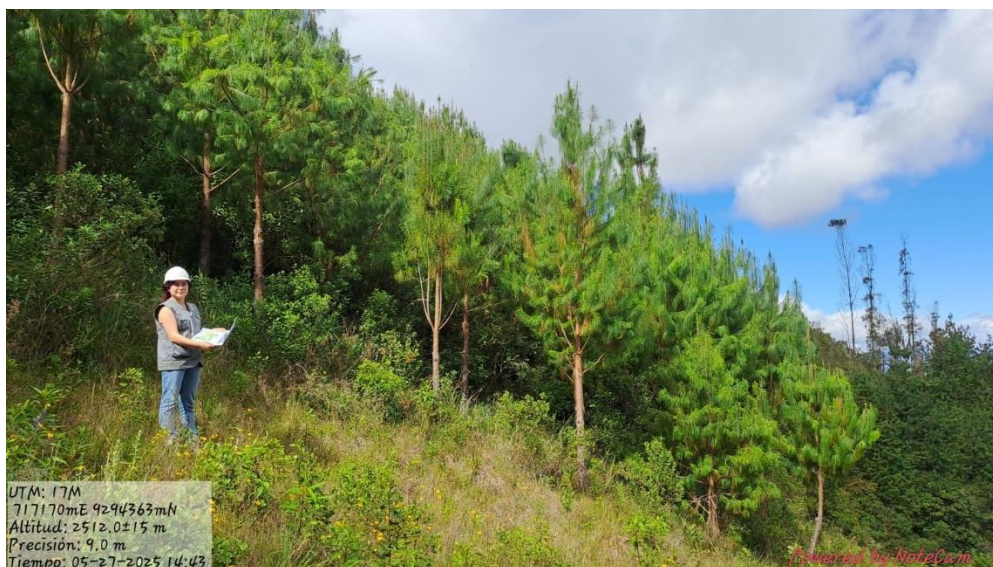
Los herbazales comprenden formaciones vegetales dominadas por especies herbáceas altoandinas, incluyendo extensos pajonales característicos del ecosistema de jalca, semejantes a los descritos por Roncal (2018) y SERNANP (2017) en los estudios ecológicos realizados en la zona. Las especies que predominan este tipo de cobertura son:

- “Chamana” *Dodonaea viscosa* Jacq.
- “Muchuy” *Monnina salicifolia* Ruiz & Pav
- “Tara” *Tara spinosa* (Feuillée ex Molina) Britton & Rose
- “Kolle” *Buddleja coriácea* J. Rémy
- “Toche” *Myrsine andina* (Mez) Pipoly
- “Suro” *Chusquea polyclados* Plig.
- “Flor de borla” *Vernonia arborescens* (L.) Sw.

La identificación de estas especies en campo pertenecientes a la cobertura de bosque abierto bajo se realizó a través de observación directa y fue contrastada con información proporcionada por la ZEE de Cajamarca y línea base Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).

Figura 16

Área de bosque abierto bajo – comunidad La Cruz Roja



4.1.7. Herbazal (He)

Las observaciones de campo y el análisis de imágenes evidencian que la cobertura herbazal se distribuye especialmente en las zonas altas del distrito de Querocoto, donde predominan gramíneas y especies herbáceas adaptadas a condiciones de bajas temperaturas y suelos poco profundos. Esta cobertura cumple una función ecológica esencial en la retención hídrica, regulación del microclima y protección contra la erosión del suelo, reporte que coincide con reportes de recuperación de vegetación herbácea en ecosistemas altoandinos de la región Cajamarca (Ñontol, 2018).

Los herbazales comprenden formaciones vegetales dominadas por especies herbáceas altoandinas, incluyendo extensos pajonales característicos del ecosistema de jalca, semejantes a los descritos por Roncal (2018) y SERNANP (2017). Las principales especies identificadas para la cobertura herbazal de cultivos fueron las siguientes:

- “Ichu” *Stipa sp.*
- “Pasto” *Festuca sp.*
- “Paja blanca” *Calamagrostis sp.*

- “Chicoria de cerro” *Werneria nubigena* Kunth
- “Cortadera” *Cortaderia bifida* Plig.
- “Sarsamora” *Rubus sp.*
- “Cachalgua” *Hypericum silenoides* Juss.

La identificación de las especies asociadas a la cobertura herbazal se efectuó mediante observación directa en campo, complementándose con la información disponible en la ZEE de Cajamarca y en los estudios de línea base del Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).

Figura 17

Zona de herbazales – comunidad El Rejo



4.1.8. Arbustal (Ar)

Según el análisis de imágenes satelitales y las observaciones de campo los arbustales se distribuyen en zonas de ladera y áreas de transición entre los bosques y los pastizales, caracterizado por vegetación leñosa de porte bajo y mediano, conformada por especies nativas que se desarrollan en suelos poco profundos y de baja fertilidad. Esta cobertura cumple un rol

muy importante en la estabilización de taludes, protección del suelo frente a la erosión y mantenimiento de la biodiversidad local (Cano et al., 2023).

Los arbustales son comunes en las jalcas y bosques montanos del norte del Perú, donde representan etapas intermedias de sucesión vegetal tras la perturbación de la cobertura original (Roncal, 2018; SERNANP, 2017). Las especies más representativas son:

- “Chilca” *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers.
- “Retama” *Spartium junceum* L.
- “Kolle” *Buddleja coriacea* J. Rémy
- “Chamana” *Dodonaea viscosa* Jacq.
- “Muñuño” *Cavendishia bracteata* Lindl.
- “Huanga” *Hesperomeles cuneata* Lindl.
- “Gara gara” *Pteridium aracnoideum* (Kaulf.) Maxon

La identificación de estas especies en campo pertenecientes a la cobertura arbustal se realizó mediante observación directa y fue contrastada con información proporcionada por la ZEE de Cajamarca y línea base Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).

Figura 18

Zona de arbustales

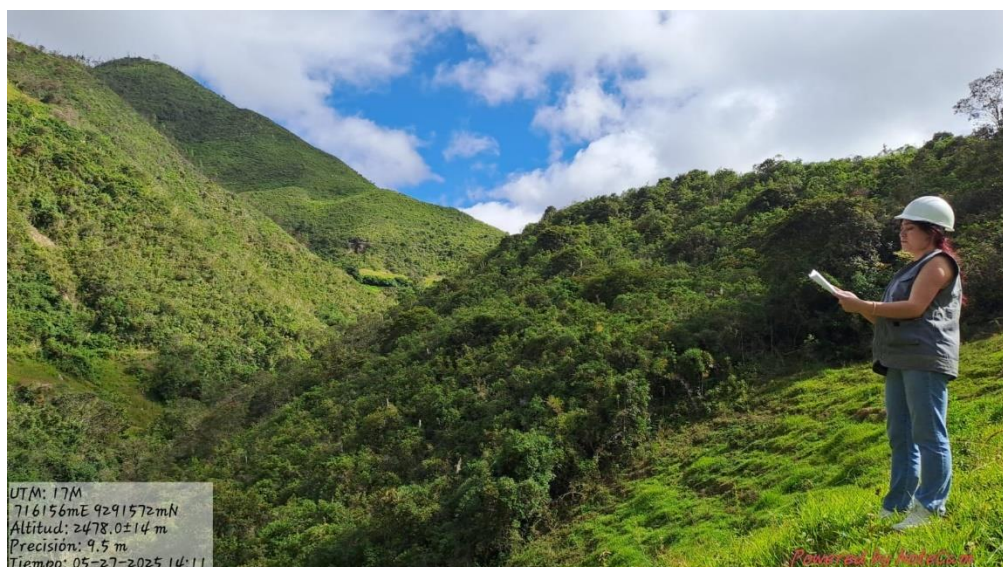


Figura 19

Zona de arbustales – Sector San Luis



4.1.9. Ríos (Ri)

Esta clase agrupa cauces fluviales permanentes y semipermanentes identificados por su firma espectral y morfología lineal en las imágenes multitemporales. En el ámbito de Querocoto, la Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2020) reconoce al río Paltic, río La Lima y a la quebrada Checos como unidades hídricas locales, según resoluciones y actos administrativos emitidos para el distrito, asimismo, existe numerosos cauces, quebradas y manantiales; entre ellos, San Luis y Chorro Blanco, Peña Blanca, Tungul, información corroborada mediante interpretación de imágenes y las observaciones de campo.

Figura 20

Quebrada San Luis



Figura 21

Zona donde se localiza cuerpos de agua – centro poblado El Rocoto



4.2. Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo en el año 2000

En la Tabla 6 y Figura 22, se visualiza la clasificación de cobertura y uso del suelo para el año 2000, en el Nivel III se identificaron nueve categorías: tejido urbano continuo, áreas de extracción de minería e hidrocarburos, pastos, mosaicos de cultivos, bosque denso alto, bosque

abierto bajo, herbazal, arbustal y ríos; de las coberturas analizadas, la que ocupó mayor área territorial es mosaicos de cultivos con 7256.8 ha y la cobertura que ocupó menor área territorial es áreas de extracción de minería e hidrocarburos con 4.01 ha. En la Figura 23, se muestra una representación gráfica de la cobertura para el año 2000.

Tabla 6

Clasificación de cobertura y uso del suelo en el año 2000

Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2000					
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	31.41	0.11
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	4.01	0.01
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	5745.97	19.25
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	7256.80	24.31
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bda	4389.52	14.71
		3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	5560.74	18.63
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	He	1554.71	5.21
		3.3.2 Arbustal	Ar	5273.52	17.67
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	32.30	0.11
TOTAL				29848.98	100.00

Figura 22

Cobertura y uso del suelo para el año 2000

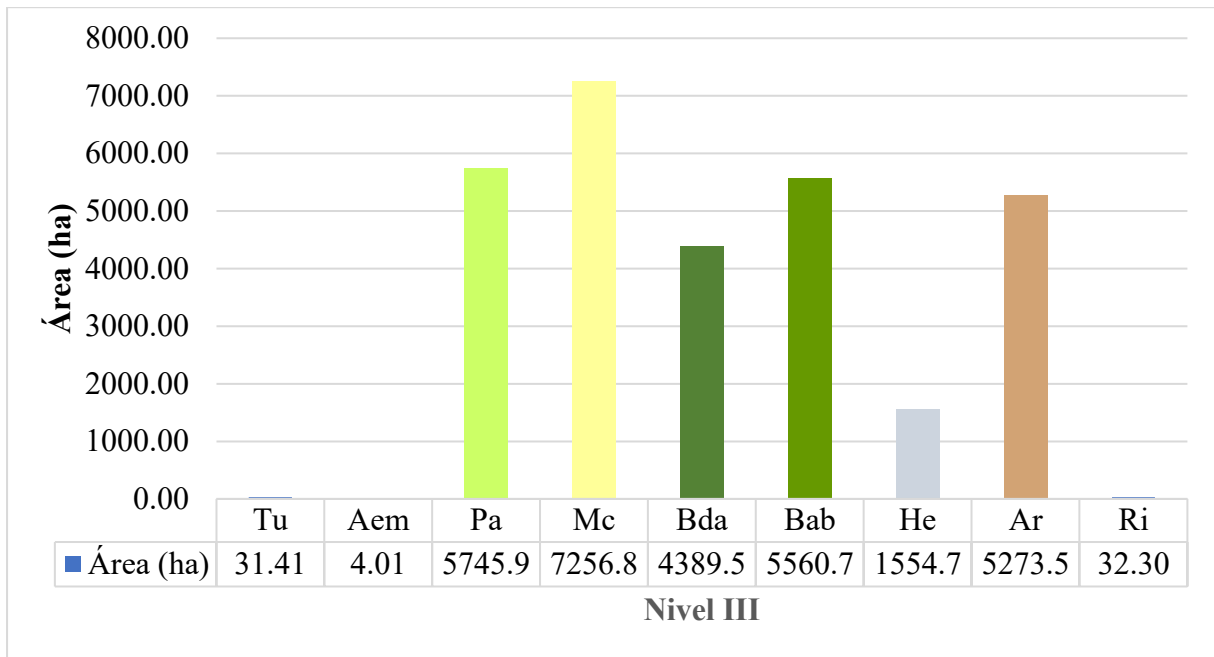
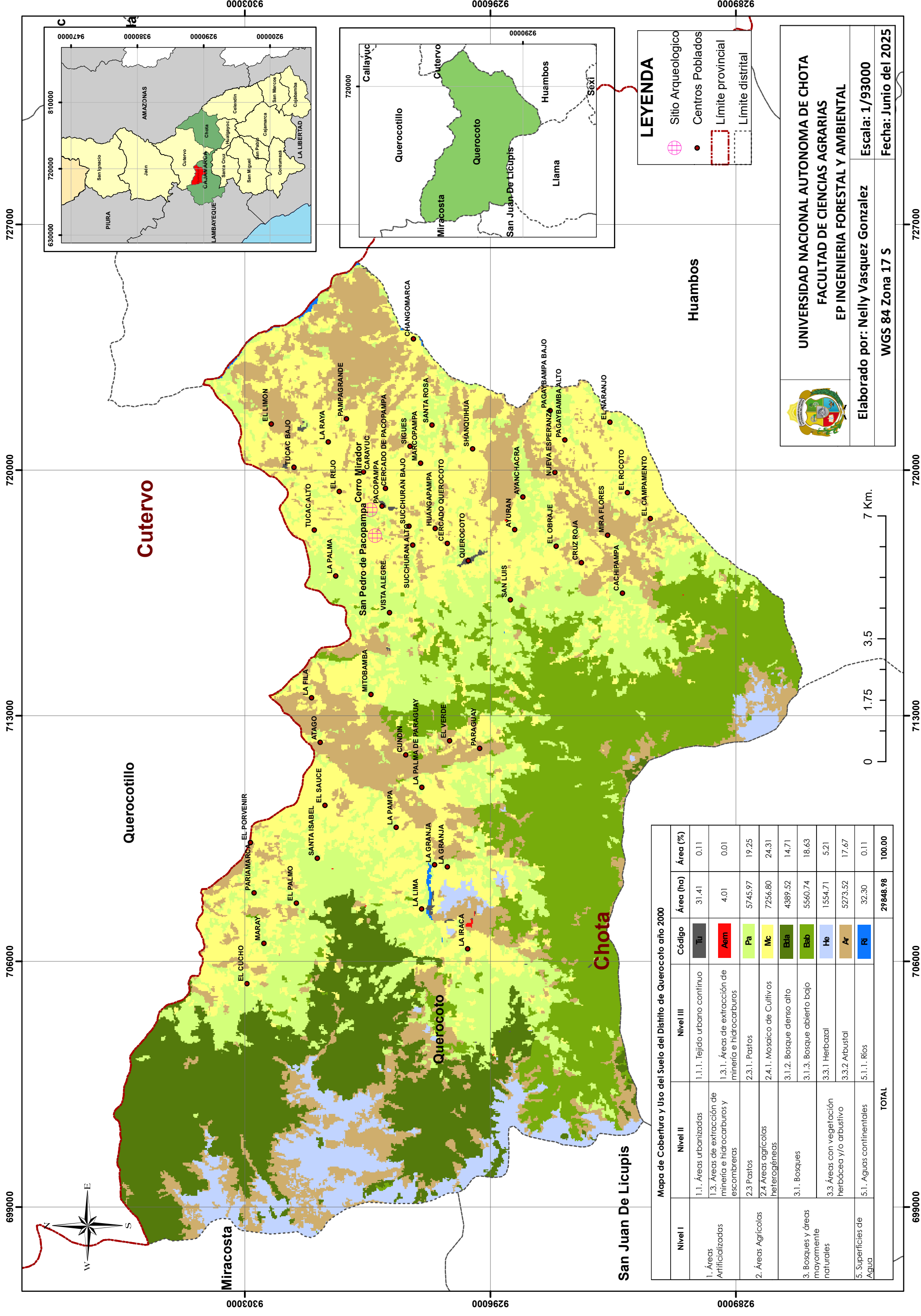


Figura 23

Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto para el año 2000



Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2000

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	31.41	0.11
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	4.01	0.01
		2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	5745.97
2. Áreas Agrícolas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Imc	7256.80	24.31
		3.1. Bosques	Bta	4389.52	14.71
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	5560.74	18.63
		3.3.1. Herbazal	He	1554.71	5.21
		3.3.2. Arbustal	Ar	5273.52	17.67
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	32.30	0.11
		TOTAL		29848.98	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EP INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL

Elaborado por: Nelly Vasquez Gonzalez
 Escala: 1/93000
 Fecha: Junio del 2025

699000 706000 713000 720000 727000 9289000 9296000 9303000

4.2.1. Análisis de precisión de clasificación de cobertura año 2000

Para el año 2000 se realizó la evaluación de la precisión de la clasificación supervisada mediante la elaboración de la matriz de confusión, con el propósito de determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos en la categorización de coberturas y usos del suelo, en la Tabla 7, se indica la exactitud del usuario, exactitud del productor y la precisión global; posteriormente, el cálculo del índice Kappa.

Tabla 7

Matriz de confusión año 2000

	111	131	231	241	312	313	331	332	511	TOTAL	F.USUARIO %
111	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.0000	100.00
131	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.0000	100.00
231	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	31.0000	96.77
241	0.00	0.00	1.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.0000	96.55
312	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	2.00	0.00	0.00	1.00	28.0000	89.29
313	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	0.00	2.00	0.00	26.0000	96.15
331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.00	0.00	0.00	26.0000	100.00
332	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	20.0000	100.00
511	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	11.0000	100.00
TOTAL	10.00	10.00	31.00	28.00	25.00	26.00	27.00	22.00	12.00	191.00	F.GLOBAL 97.64
F. PRODUCTOR	100.00	100.00	96.77	100.00	100.00	92.31	96.30	90.91	91.67		

Nota. La matriz de confusión alcanzó un 97.64 % de precisión global.

4.2.2. Cálculo del Índice Kappa para el año 2000

Po: Porción de concordancia observada

$$P_o = \frac{10.00 + 10.00 + 30.00 + 28.00 + 25.00 + 24.00 + 26.00 + 20.00 + 11.00}{191.00}$$

$$P_o = 0.96$$

Pe: Porción de concordancia al azar

$$P_e = \frac{(10.00 * 10.00) + (10.00 * 10.00) + (31.00 * 31.00) + (28.00 * 29.00) +}{36481}$$

$$\frac{(25.00 * 28.00) + (26.00 * 26.00) + (27.00 * 26.00) + (22.00 * 20.00) + (12.00 * 11.00)}{36481}$$

$$Pe = 0.13$$

K: Índice Kappa

$$K = \frac{0.96 - 0.13}{1 - 0.13}$$

$$K = 0.96$$

El índice Kappa calculado para el año 2000 es de 0.96, lo que indicó que la clasificación obtenida es casi perfecta (Tabla 4).

La matriz de confusión obtenida muestra que la clasificación supervisada realizada para el análisis de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto para el año 2000 alcanzó una alta precisión global de 97.64%, evidenciando una clasificación sumamente confiable. Este resultado, permitió calcular el coeficiente Kappa de 0.96 revelando una fuerza de concordancia “Casi perfecta” (Tabla 4) entre los datos clasificados y los datos de referencia, superando ampliamente lo que se esperaría por azar.

Las clases con mayor exactitud fueron el tejido urbano continuo (Tu), áreas de extracción minera y ríos (Aem), que alcanzaron una precisión del usuario del 100%, es decir, todos los píxeles clasificados como tales coinciden con la realidad. Asimismo, categorías de bosque natural como bosque abierto bajo (Bab), arbustal (Ar) y pastos (Pa) también presentaron altos niveles de exactitud, superiores al 90% en ambas métricas (usuario y productor). Pequeñas confusiones se observaron principalmente entre clases con características espectrales similares, como herbazal (He) y bosque denso alto (Bda), posiblemente asociadas a factores como la pendiente, altitud y el estado fenológico de la vegetación al momento de la toma satelital. No obstante, acorde a la matriz de confusión e índice Kappa mostrados, la clasificación general fue técnicamente válida y adecuada para sustentar los análisis de cambio de cobertura y proyección de escenarios futuros en el territorio de estudio (Zafar et al., 2024).

4.3. Análisis de cobertura y uso del suelo en el año 2012

En la Tabla 8 y Figura 24, se aprecia la clasificación de cobertura y uso del suelo para el año 2012, la cobertura que ocupa mayor área territorial es mosaicos de cultivos (Mc) con 9437.5 ha y la cobertura que ocupa menor área territorial es áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Aem) con 16.09 ha. En la Figura 25, se presenta una representación gráfica de la cobertura para el año 2012.

Tabla 8

Clasificación de cobertura y uso del suelo en el año 2012

Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2012					
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	61.30	0.21
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	16.09	0.05
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	4266.15	14.29
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	9437.57	31.62
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bda	3936.59	13.19
		3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	5272.30	17.66
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	He	2287.43	7.66
		3.3.2 Arbustal	Ar	4526.53	15.16
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	45.02	0.15
TOTAL				29848.98	100.00

Figura 24

Cobertura y uso del suelo año 2012

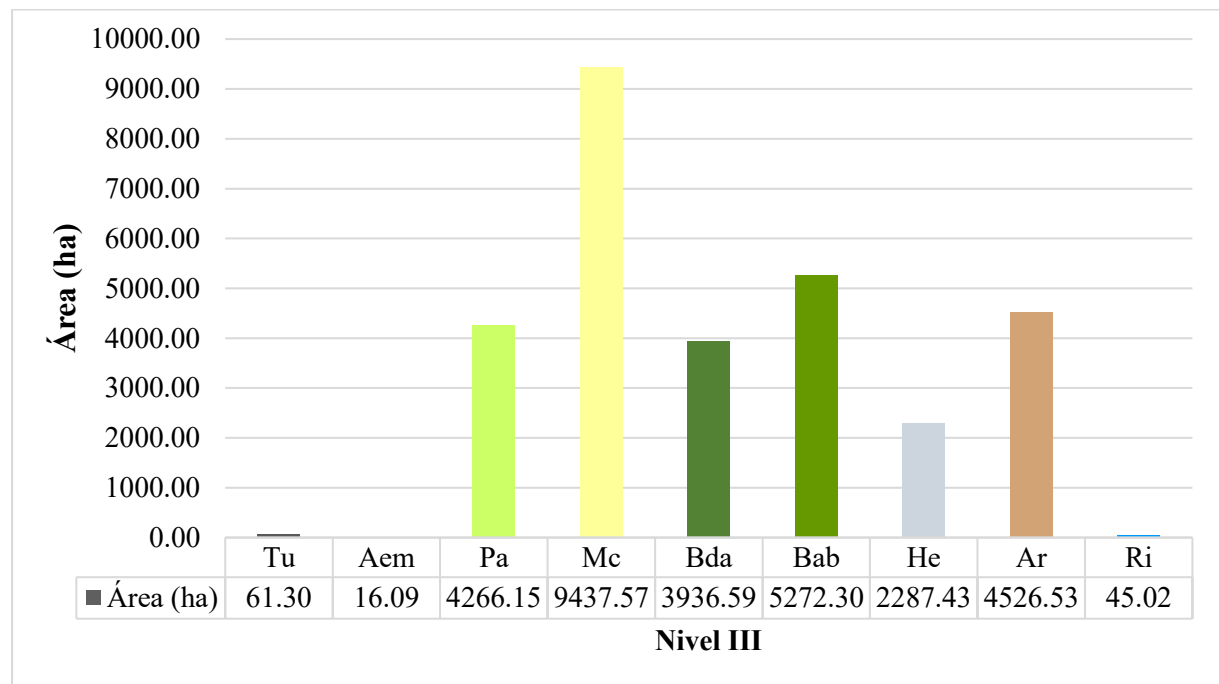
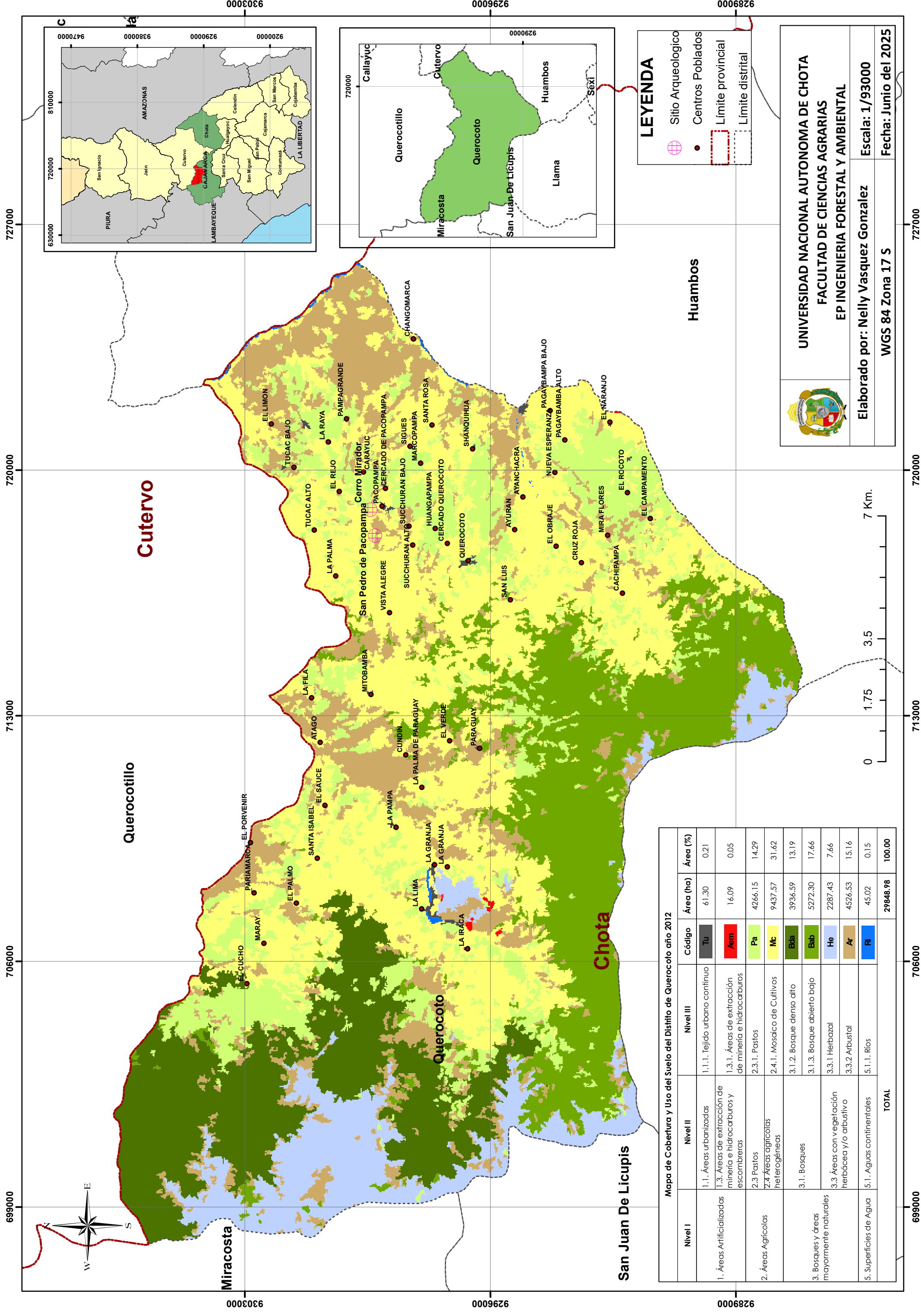


Figura 25

Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto para el año 2012



Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2012

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	61.30	0.21
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aam	16.09	0.05
	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	4266.15	14.29
2. Áreas Agrícolas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	9437.57	31.62
	3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bda	3936.59
3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo		3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	5272.30	17.66
		3.3.1. Herbazal	He	2287.43	7.66
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	3.3.2. Arbustal	Ar	4526.53	15.16
		5.1.1. Ríos	R	45.02	0.15
TOTAL				29848.98	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EP INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL

Elaborado por: Nelly Vasquez Gonzalez
 WGS 84 Zona 17 S
 Escala: 1/93000
 Fecha: Junio del 2025

699000 706000 713000 720000 727000 734000 741000 748000 755000 762000 769000 776000 783000 790000 797000 804000 811000 818000 825000 832000 839000 846000 853000 860000 867000 874000 881000 888000 895000 902000 909000 916000 923000 930000 937000 944000 951000 958000 965000 972000 979000 986000 993000

4.3.1. Análisis de precisión de clasificación de cobertura año 2012

Para el año 2012 se efectuó la verificación de la exactitud de la clasificación temática mediante la generación de la matriz de confusión, con el fin de validar la correspondencia entre las categorías clasificadas y los puntos de referencia obtenidos en campo. Este procedimiento permitió determinar el nivel de fiabilidad del mapa de coberturas, expresado a través de los valores de F. usuario, F. productor y la precisión global, tal y como se muestran (Tabla 9).

Tabla 9

Matriz de confusión año 2012

	111	131	231	241	312	313	331	332	511	TOTAL	F.USUARIO %
111	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.0000	90.91
131	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.0000	111.11
231	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	31.0000	96.77
241	0.00	0.00	1.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.0000	90.32
312	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	3.00	0.00	1.00	0.00	29.0000	86.21
313	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	0.00	2.00	0.00	26.0000	96.15
331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	25.0000	104.00
332	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	20.0000	100.00
511	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.0000	110.00
TOTAL	11.00	9.00	31.00	30.00	25.00	27.00	26.00	23.00	10.00	192.00	F.GLOBAL 97.49
F. PRODUCTOR	100.00	100.00	96.77	100.00	100.00	88.89	96.15	86.96	100.00		

Nota. La matriz de confusión alcanzó un 97.49 % de precisión global.

4.3.2. Cálculo del Índice Kappa para el año 2012

Po: Porción de concordancia observada

$$P_o = \frac{11.00 + 9.00 + 30.00 + 30.00 + 25.00 + 24.00 + 25.00 + 20.00 + 10.00}{192.00}$$

$$P_o = 0.96$$

Pe: Porción de concordancia esperada al azar

$$P_e = \frac{(11.00 * 11.00) + (9.00 * 9.00) + (31.00 * 31.00) + (30.00 * 31.00) +}{36864}$$

$$\frac{(25.00 * 29.00) + (27.00 * 26.00) + (26.00 * 25.00) + (23.00 * 20.00) + (10.00 + 10.00)}{36864}$$

$$Pe = 0.13$$

K: Índice Kappa

$$K = \frac{0.96 - 0.13}{1 - 0.13}$$

$$K = 0.96$$

El índice Kappa calculado para el año 2012 es de 0.96, lo que indicó que la clasificación obtenida es casi perfecta (Tabla 4).

La matriz de confusión del año 2012 (Tabla 9) mostró que la clasificación supervisada presentó una precisión global del 97.49%, la cual evidenció una muy buena correspondencia entre los datos clasificados y los datos de referencia. Este resultado fue respaldado por un índice Kappa de 0.96, indicando una fuerza de concordancia “casi perfecta” (Tabla 4), lo que validó la confiabilidad del modelo de clasificación.

Entre las clases con mayor exactitud destacaron las áreas de extracción minera (131) y ríos (511), que alcanzaron una precisión del usuario y productor del 100%, sin errores de clasificación. Asimismo, arbustal (332) y bosque abierto bajo (313) mantuvieron valores elevados, superiores al 96%, lo que demostró estabilidad en la detección de coberturas naturales. Algunas clases como tejido urbano continuo (111) y bosque denso alto (312) presentaron leves disminuciones en la precisión del usuario (90.91% y 86.21%, respectivamente), atribuidos a la similitud espectral con otras coberturas vecinas o a cambios estructurales en el paisaje. No obstante, su precisión del productor fue aceptable (100% y 88.89%, respectivamente), lo que indicó que aunque algunas muestras fueron confundidas, la mayoría se clasificaron correctamente.

Por lo tanto, el modelo correspondiente a los años fue sólido y altamente confiable, lo que permitió sustentar con rigor los análisis de dinámica espacio-temporal del uso del suelo en el distrito de Querocoto y su evolución hacia años posteriores.

4.4. Análisis de cobertura y uso del suelo en el año 2024

En la Tabla 10 y Figura 26, se aprecia la clasificación de cobertura y uso del suelo para el año 2024, la cobertura que ocupa mayor área territorial es mosaicos de cultivos (Mc) con 7935.2 ha y la cobertura que ocupa menor área territorial es áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Aem) con 28.35 ha. En la Figura 26, se muestra una representación gráfica de la cobertura para el año 2024.

Tabla 10

Clasificación de cobertura y uso del suelo en el año 2024

Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2024					
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	88.38	0.30
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	28.35	0.09
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	6816.54	22.84
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	7935.25	26.58
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bda	2419.54	8.11
		3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	4460.09	14.94
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	He	2254.36	7.55
		3.3.2 Arbustal	Ar	5767.25	19.32
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	79.22	0.27
TOTAL				29848.98	100.00

Figura 26

Cobertura y uso del suelo año 2024

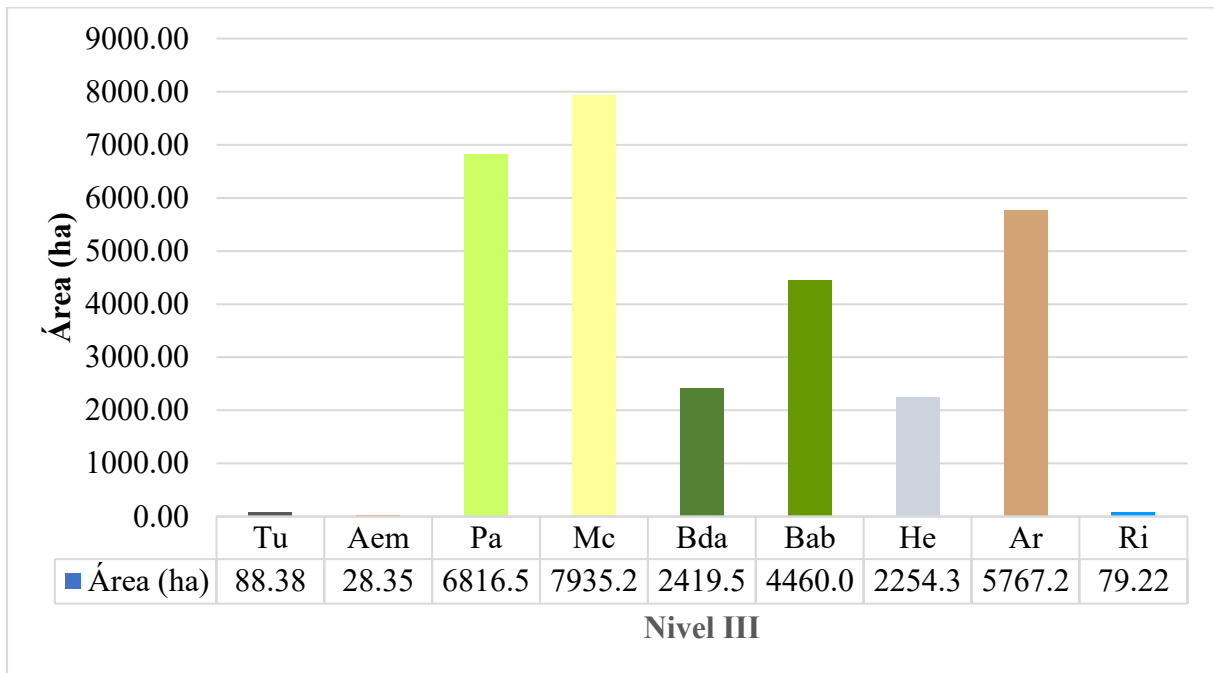
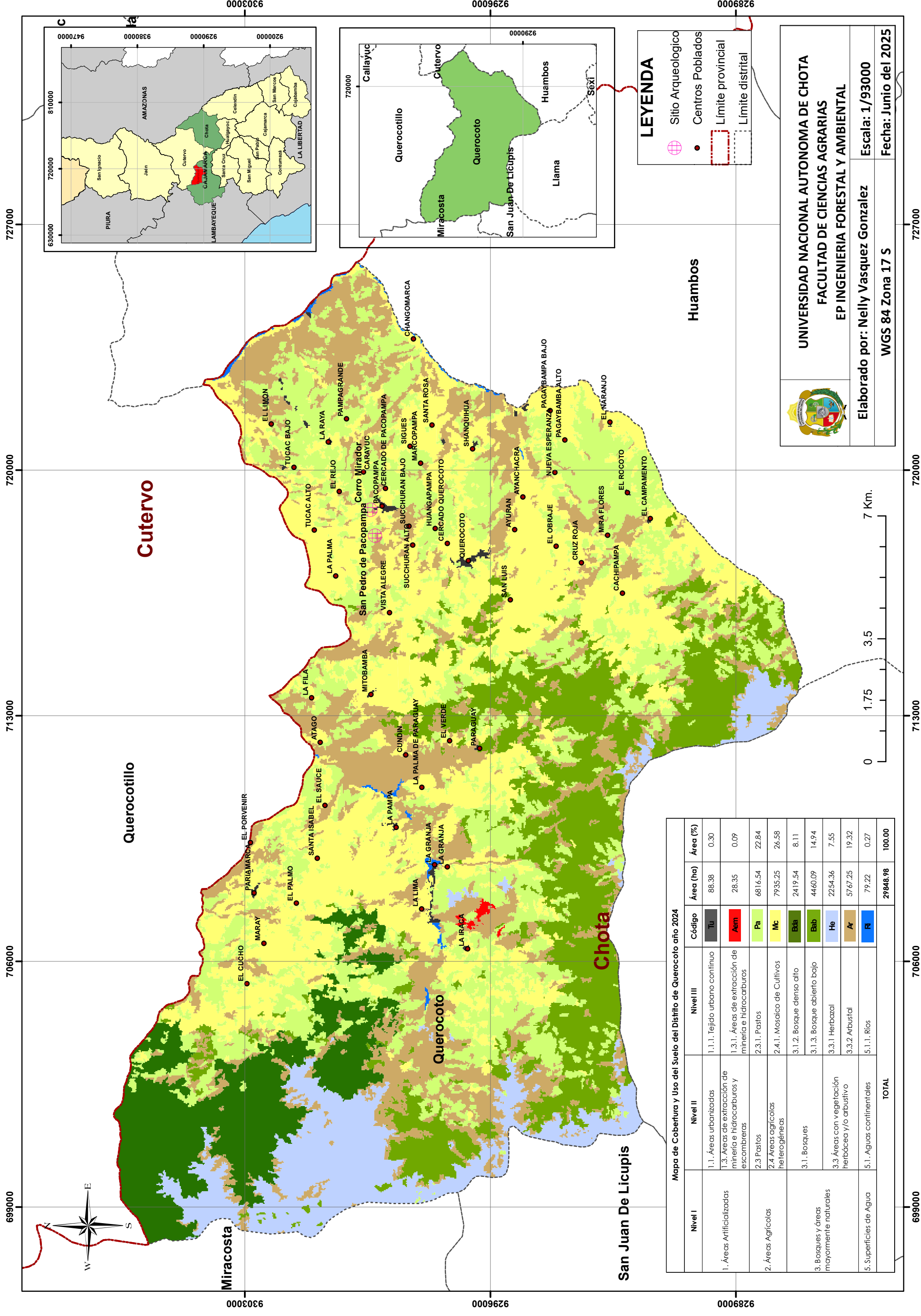


Figura 27

Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto para el año 2024



Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2024

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	88.38	0.30
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	28.35	0.09
		2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	6816.54
2. Áreas Agrícolas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	7935.25	26.58
		3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bta	2419.54
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Bosque abierto bajo	Btb	4460.09	14.94
		3.3.1. Herbazal	He	2254.36	7.55
		3.3.2. Arbustal	Ar	5767.25	19.32
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	R	79.22	0.27
TOTAL				29848.98	100.00

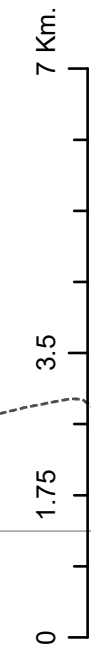
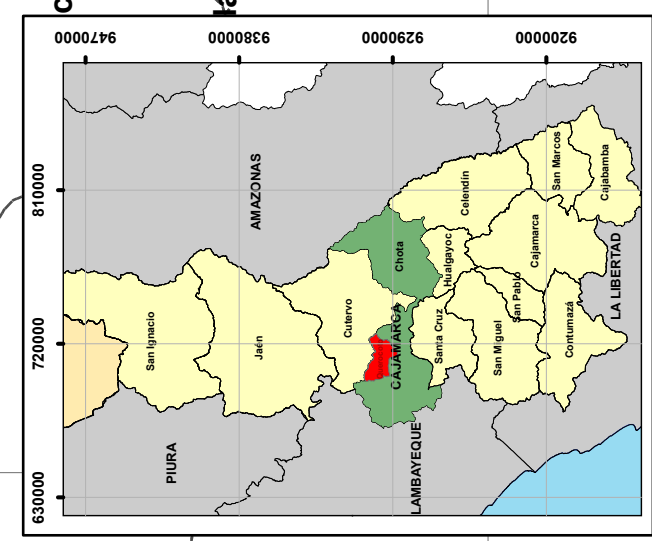
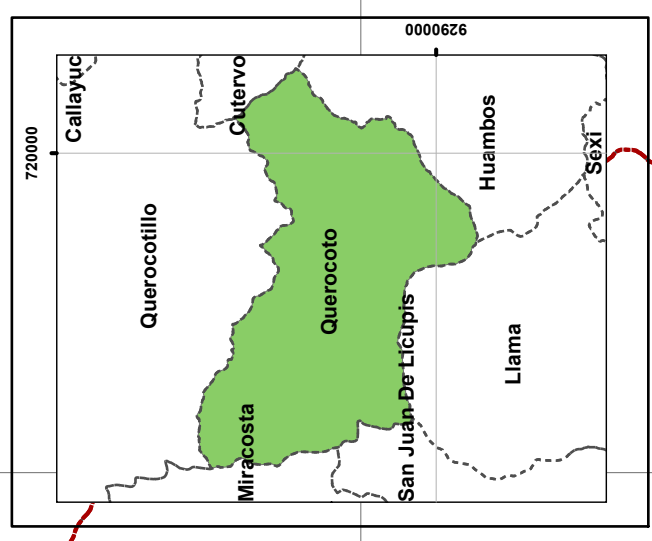


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EP INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL

Elaborado por: Nelly Vasquez Gonzalez
 WGS 84 Zona 17 S
 Escala: 1/93000
 Fecha: Junio del 2025

LEYENDA

- Sitio Arqueológico
- Centros Poblados
- Límite provincial
- Límite distrital



4.4.1. Análisis de precisión de clasificación de cobertura

Para el año 2024 se realizó la evaluación de la precisión de la clasificación supervisada mediante la elaboración de la matriz de confusión, con el fin de validar la correspondencia entre las categorías clasificadas y los puntos de referencia obtenidos en campo, en la Tabla 11, se muestra la exactitud del usuario, exactitud del productor y la precisión global; posteriormente, el cálculo del índice Kappa correspondiente.

Tabla 11

Matriz de confusión año 2024

	111	131	231	241	312	313	331	332	511	TOTAL	F.USUARIO %
111	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.0000	90.91
131	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.0000	111.11
231	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	27.0000	111.11
241	0.00	0.00	2.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.0000	87.50
312	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	1.00	0.00	1.00	0.00	27.0000	92.59
313	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	24.0000	104.17
331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	25.0000	104.00
332	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	20.0000	100.00
511	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.0000	110.00
TOTAL	11.00	9.00	27.00	30.00	25.00	25.00	27.00	21.00	10.00	185.00	F.GLOBAL 97.49
F. PRODUCTOR	100.00	100.00	92.59	100.00	100.00	96.00	92.59	95.24	100.00		

Nota. La matriz de confusión alcanzó un 97.49 % de precisión global.

4.4.2. Cálculo del Índice Kappa para el año 2024

Po: Porción de concordancia observada

$$P_o = \frac{11.00 + 9.00 + 25.00 + 30.00 + 25.00 + 24.00 + 25.00 + 20.00 + 10.00}{185.00}$$

$$P_o = 0.97$$

Pe: Porción de concordancia esperada al azar

$$P_e = \frac{(11.00 * 11.00) + (9.00 * 9.00) + (27.00 * 27.00) + (30.00 * 32.00) + (25.00 * 25.00) + (24.00 * 24.00) + (25.00 * 25.00) + (20.00 * 20.00) + (10.00 * 10.00)}{34225}$$

$$\frac{(25.00 * 27.00) + (25.00 * 24.00) + (27.00 * 25.00) + (21.00 * 20.00) + (10.00 * 10.00)}{34225}$$

$$Pe = 0.13$$

K: Índice Kappa

$$K = \frac{0.97 - 0.13}{1 - 0.13}$$

$$K = 0.97$$

El índice Kappa calculado para el año 2024 es de 0.97, lo que indicó que la clasificación obtenida es casi perfecta (Tabla 4).

La clasificación supervisada realizada para el año 2024 en el distrito de Querocoto presentó una precisión global del 97.49% (Tabla 11), por lo tanto, fue un resultado altamente confiable. Este desempeño fue respaldado por un índice Kappa de 0.97 el cual representó un nivel de concordancia “casi perfecto” (Tabla 4). Las clases que mostraron precisión perfecta del productor (100%) son: tejido urbano continuo (111), áreas de extracción de minería e hidrocarburos (131), bosque denso alto (312), ríos (511); indicando que todos los píxeles reales de estas categorías fueron correctamente identificados.

Asimismo, la precisión del usuario fue notablemente alta en varias clases, destacando: minería (131), pastos (231) y bosque abierto bajo (313), con valores superiores al 104%, lo cual refleja que en estas clases se clasificaron más píxeles de los que realmente había, posiblemente por la inclusión de píxeles espectralmente similares (sobreclasificación). La clase mosaico de cultivos (241) fue una de las más difíciles de clasificar, con una precisión del usuario de 87.50% y del productor de 92.59%, la cual se relacionó con la heterogeneidad de los cultivos y su variabilidad temporal en el paisaje andino.

En conjunto, los resultados del año 2024 reflejaron una clasificación extremadamente robusta, con una mejora leve frente a los años anteriores (2012 y 2022), lo que respalda firmemente el análisis multitemporal de los cambios de cobertura y usos del suelo en el distrito de Querocoto.

4.5. Cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto

La Tabla 12 y Tabla 13 muestra la distribución de las coberturas y usos del suelo en Querocoto expresada en áreas y proporción porcentual respectivamente para los años 2000, 2012 y 2024. Se observa que el mosaico de cultivos constituye la cobertura de mayor extensión en los tres periodos, seguido por los pastos y los bosques abiertos bajos. En contraste, las coberturas de menor superficie corresponden al tejido urbano continuo, las áreas de extracción minera y los ríos. Asimismo, se aprecia una variación progresiva en las áreas de cada categoría a lo largo del tiempo, evidenciando incrementos en coberturas antrópicas y fluctuaciones en las coberturas naturales.

Tabla 12

Cambio de cobertura y uso del suelo en el en el periodo 2000 – 2024 (ha)

Cobertura y uso del suelo		2000	2012	2024
		Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	31.41	61.30	88.38
1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	4.01	16.09	28.35
2.3.1. Pastos	Pa	5745.97	4266.15	6816.54
2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	7256.80	9437.57	7935.25
3.1.2. Bosque denso alto	Bda	4389.52	3936.59	2419.54
3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	5560.74	5272.30	4460.09
3.3.1. Herbazal	He	1554.71	2287.43	2254.36
3.3.2. Arbustal	Ar	5273.52	4526.53	5767.25
5.1.1. Ríos	Ri	32.30	45.02	79.22
Total		29848.98	29848.98	29848.98

Tabla 13*Cambio de cobertura y uso del suelo en el en el periodo 2000 – 2024 (%)*

Cobertura y uso del suelo		2000	2012	2024
		Área (%)	Área (%)	Área (%)
1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	0.11	0.21	0.30
1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	0.01	0.05	0.09
2.3.1. Pastos	Pa	19.25	14.29	22.84
2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	24.31	31.62	26.58
3.1.2. Bosque denso alto	Bda	14.71	13.19	8.11
3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	18.63	17.66	14.94
3.3.1. Herbazal	He	5.21	7.66	7.55
3.3.2. Arbustal	Ar	17.67	15.16	19.32
5.1.1. Ríos	Ri	0.11	0.15	0.27
Total		100.00	100.00	100.00

4.6. Proyección de cobertura y uso del suelo para el año 2050

Para la estimación de la cobertura y uso del suelo para el año 2050 se realizó mediante el software TerrSet. En la Tabla 14, se visualiza la proyección de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto para el año 2050, de las coberturas clasificadas, las que ocupan mayor área territorial es Mosaicos de cultivos (Mc) con 8750.65, Pastos (Pa) 7396.58 y Arbustal (Ar) 6114.69 ha y la cobertura que ocupa menor área territorial es Áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Aem) con 35.46 ha. En la Figura 29, se muestra una representación gráfica de la cobertura para el año 2050.

Tabla 14

Proyección de cobertura y uso del suelo para el año 2050

Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2050				
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Cod	Área_ha
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	139.06
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	35.46
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	7396.58
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	8750.65
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bda	1203.00
		3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	3256.17
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	He	2812.60
		3.3.2 Arbustal	Ar	6114.69
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	140.77
Total				29848.98

Figura 28

Proyección de cobertura y uso del suelo año 2050

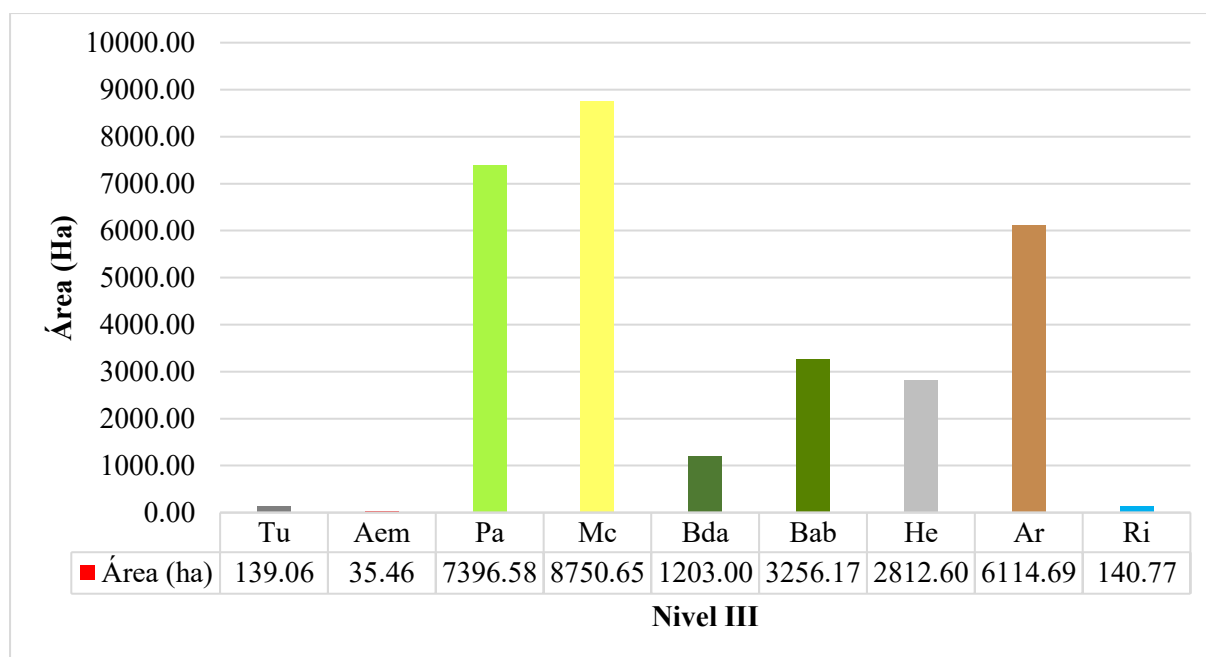
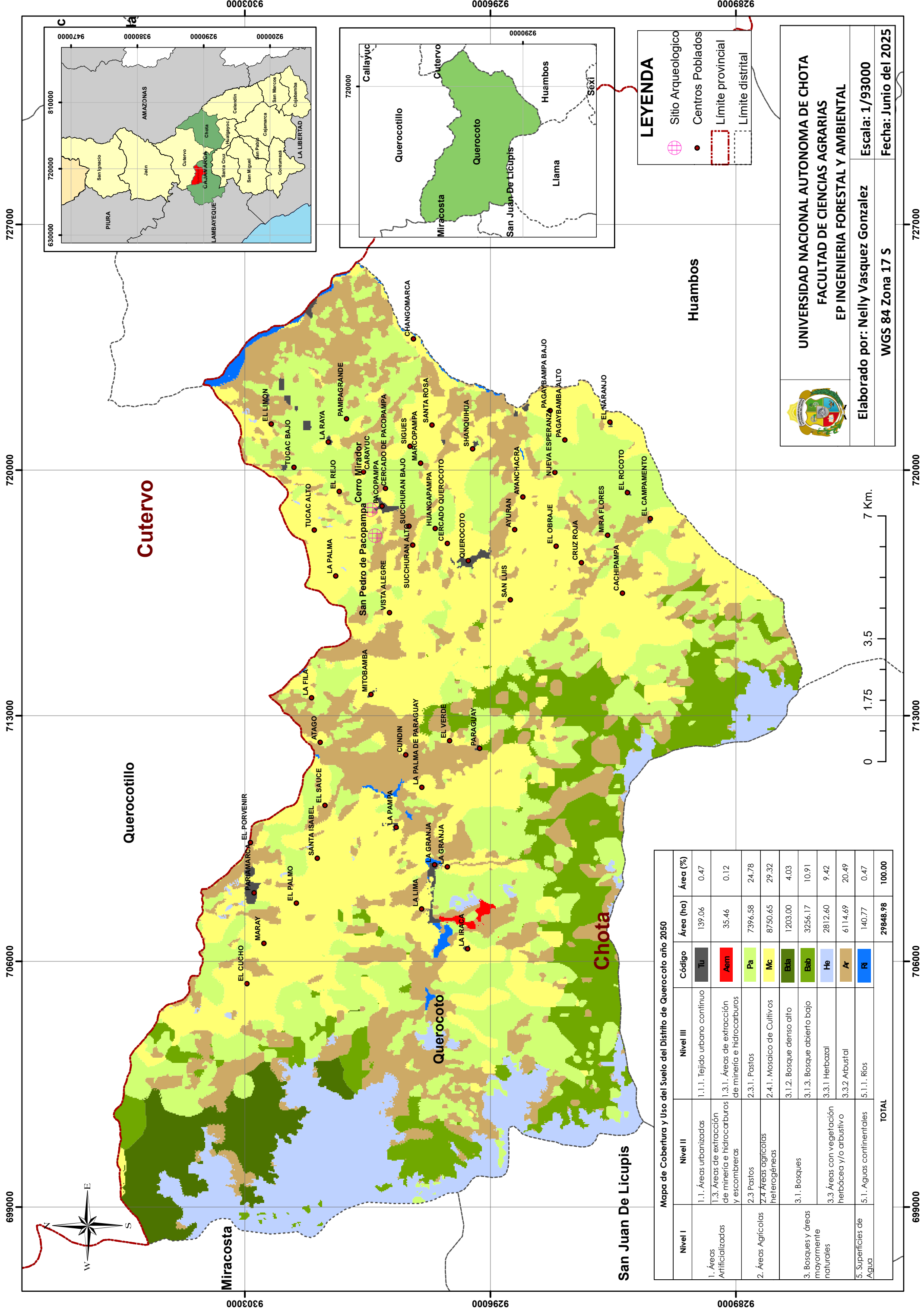


Figura 29

Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto, proyección al año 2050



Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Querocoto año 2020

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	139.06	0.47
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	35.46	0.12
		2.3 Pastos	Pa	7396.58	24.78
2. Áreas Agrícolas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	8750.65	29.32
		3.1. Bosques	Bta	1203.00	4.03
	3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	3256.17
3.3.1. Herbazal			Hb	2812.60	9.42
3.3.2. Arbustal		Ar	6114.69	20.49	
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	140.77	0.47
		TOTAL		29848.98	100.00

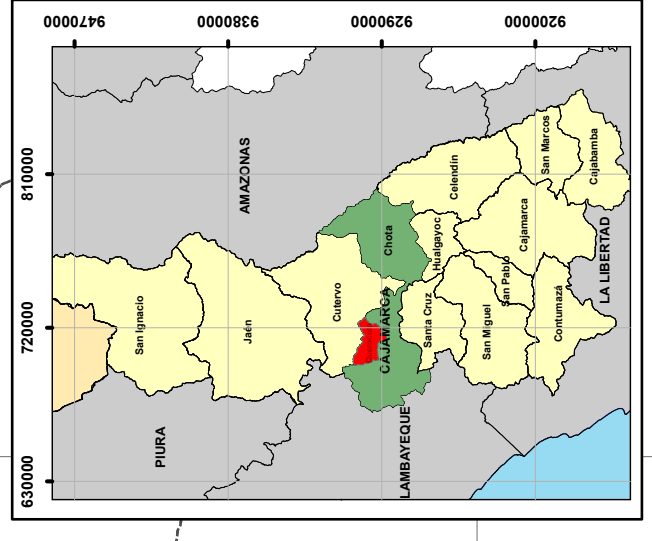
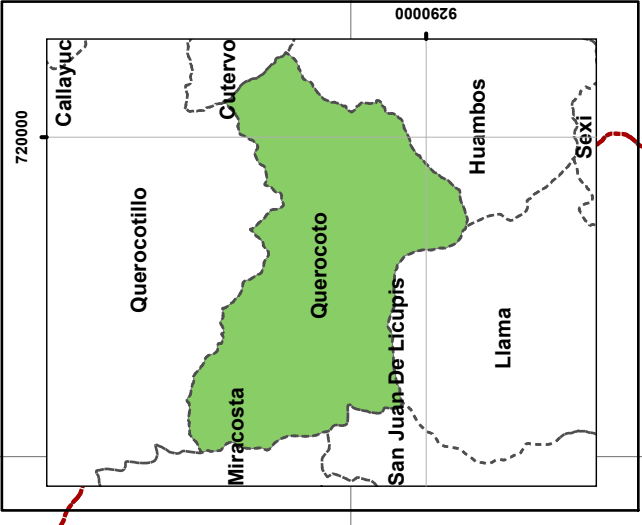


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EP INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL

Elaborado por: Nelly Vasquez Gonzalez
 Escala: 1/93000
 Fecha: Junio del 2025

LEYENDA

- Sitio Arqueológico
- Centros Poblados
- Límite provincial
- Límite distrital



4.6.1. Matriz de probabilidad de transición al 2050

La matriz de probabilidad de transición al año 2050 (Tabla 15), obtenida a través de CA-Markov en base a los mapas de uso del suelo de los años 2000, 2012 y 2024, permitió identificar las tendencias de cambio, permanencia y vulnerabilidad de las coberturas en el distrito estudiado.

Tabla 15

Matriz de probabilidad de transición para el año 2050

	Tu	Aem	Bda	Bab	Ar	Mc	Pa	He	Ri
Tu	0.34	0.00	0.00	0.03	0.20	0.23	0.17	0.00	0.03
Aem	0.00	0.31	0.00	0.00	0.35	0.12	0.21	0.00	0.00
Bda	0.00	0.00	0.37	0.17	0.20	0.08	0.14	0.04	0.00
Bab	0.00	0.00	0.00	0.46	0.20	0.13	0.19	0.01	0.00
Ar	0.00	0.00	0.03	0.04	0.34	0.18	0.19	0.19	0.01
Mc	0.01	0.00	0.00	0.02	0.18	0.44	0.34	0.00	0.01
Pa	0.00	0.00	0.00	0.05	0.13	0.49	0.32	0.00	0.01
He	0.00	0.01	0.03	0.03	0.17	0.00	0.05	0.72	0.00
Ri	0.11	0.00	0.00	0.00	0.12	0.22	0.06	0.00	0.50

En dicha matriz, se observa que las clases más estables son herbales (0.72), ríos (0.50), bosque abierto bajo (0.46) y mosaico de cultivos (0.44), lo que indicó que estos usos del suelo presentan baja probabilidad de transformación hacia otras clases. Por el contrario, coberturas como tejido urbano continuo (0.34), arbustales (0.34), pastos (0.32) y áreas de extracción minera (0.31) y mostraron baja permanencia, evidenciando una tendencia al cambio. En particular, los pastos y tierras agrícolas mostraron tendencia a convertirse en herbazales, arbustales y otras coberturas naturales, lo que se relacionó con procesos de abandono de tierras o empobrecimiento ecológico.

4.7. Proyección de cobertura y uso del suelo para el año 2070

Para la estimación de la cobertura y uso del suelo para el año 2070 se realizó mediante el software TerrSet. En la Tabla 16 y Figura 30, se visualiza la proyección de cobertura y uso del

suelo del distrito de Querocoto para el año 2070, de las coberturas clasificadas, las que ocupan mayor área territorial es Mosaicos de cultivos (Mc) con 9102.20, Pastos (Pa) 7354.71 y Arbustal (Ar) 5997.48 ha y la cobertura que ocupa menor área territorial es Áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Aem) con 36.63 ha. En la Figura 31, se evidencia gráficamente la cobertura para el año 2050.

Tabla 16

Cobertura y usos del suelo del distrito de Querocoto para el año 2070

Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del distrito de Querocoto año 2070				
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área_ha
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	166.90
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	36.63
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos	Pa	7354.71
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	9102.20
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque denso alto	Bda	936.69
		3.1.3. Bosque abierto bajo	Bab	2893.73
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal	He	3207.57
		3.3.2 Arbustal	Ar	5997.48
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	153.06
Total				29848.98

Figura 30

Proyección de cobertura y uso del suelo año 2070

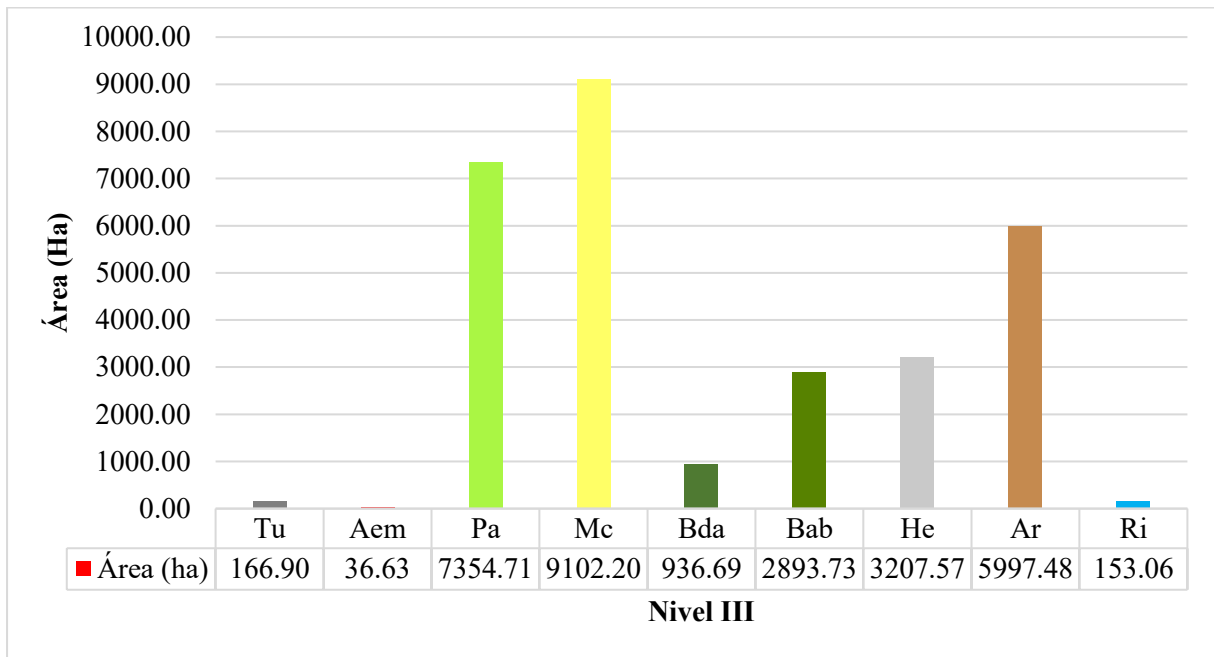
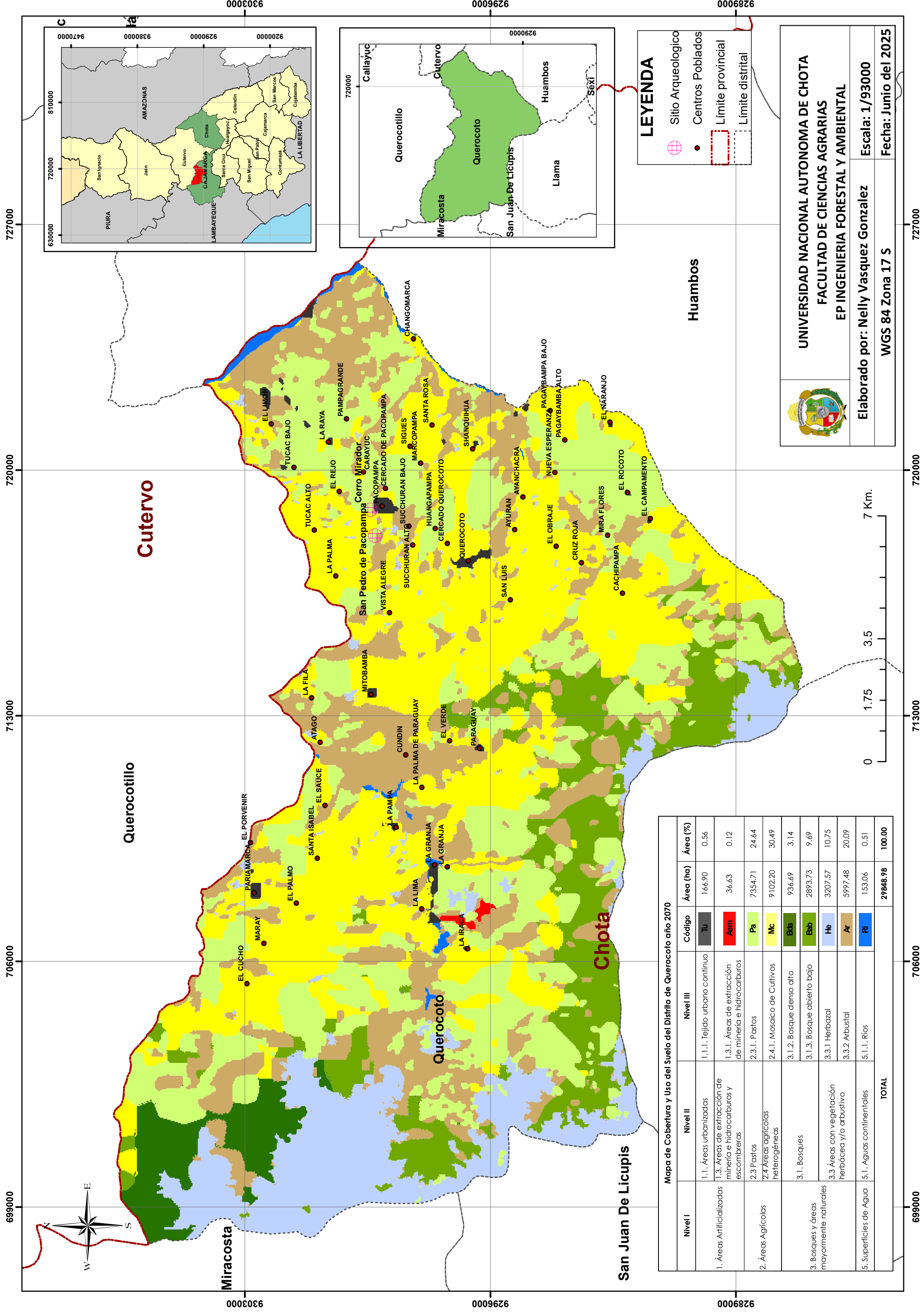


Figura 31

Mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Querocoto, proyección al año 2070



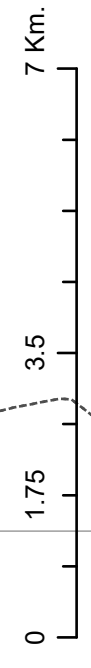
Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Quercocoto año 2020

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área (ha)	Área (%)	
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	166.90	0.56	
		1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombros	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	36.63	0.12
			2.3 Pastos	Pa	7354.71	24.64
2. Áreas Agrícolas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	Mc	9102.20	30.49	
		3.1. Bosques	Bda	936.69	3.14	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.1.2. Bosque denso alto	Bab	2893.73	9.69	
		3.1.3. Bosque abierto bajo	He	3207.57	10.75	
		3.3.2. Arbustal	Ar	5997.48	20.09	
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	153.06	0.51	
		TOTAL		29848.98	100.00	



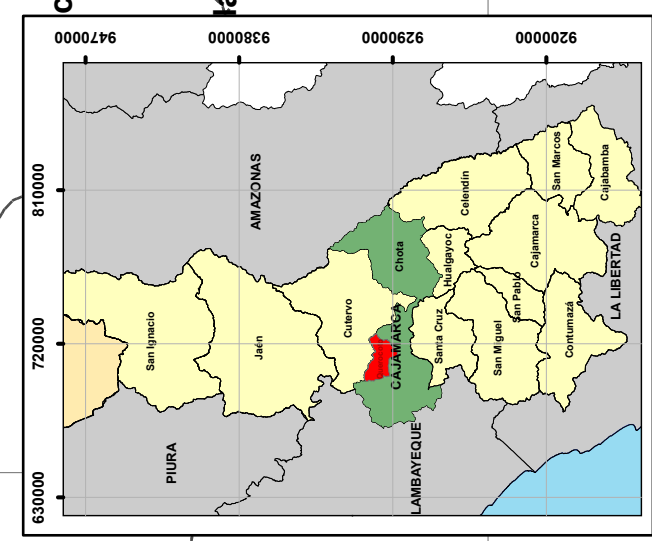
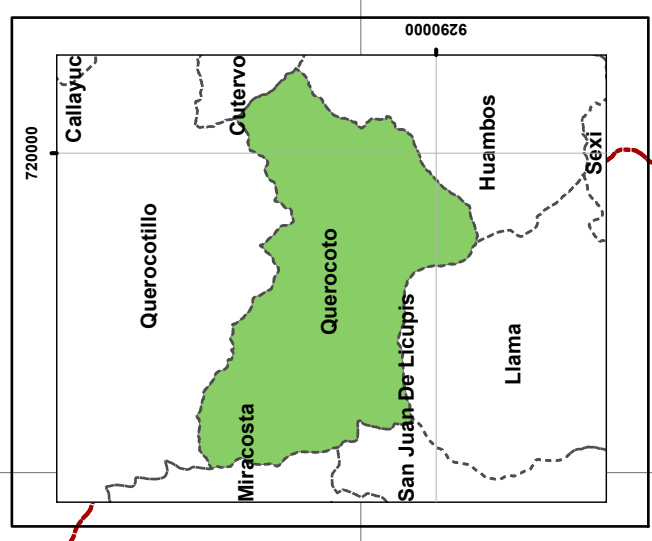
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EP INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL

Elaborado por: Nelly Vasquez Gonzalez
 Escala: 1/93000
 Fecha: Junio del 2025



LEYENDA

- Sitio Arqueológico
- Centros Poblados
- Límite provincial
- Límite distrital



4.7.1. Matriz de probabilidad de transición al 2070

La matriz de probabilidad de transición al año 2070 (Tabla 17), obtenida mediante el modelo de Markov a de los años estudiados 2000 – 2024 permitió identificar las tendencias de cambio y permanencia de las coberturas en el distrito de Querocoto.

Tabla 17

Matriz de probabilidad de transición al año 2070

	Tu	Aem	Bda	Bab	Ar	Mc	Pa	He	Ri
Tu	0.22	0.00	0.00	0.04	0.20	0.28	0.20	0.02	0.03
Aem	0.00	0.19	0.01	0.02	0.31	0.20	0.23	0.04	0.00
Bda	0.00	0.00	0.24	0.16	0.21	0.15	0.17	0.07	0.00
Bab	0.00	0.00	0.01	0.33	0.21	0.21	0.22	0.03	0.00
Ar	0.00	0.00	0.03	0.05	0.26	0.22	0.20	0.21	0.01
Mc	0.01	0.00	0.01	0.04	0.19	0.39	0.33	0.02	0.01
Pa	0.01	0.00	0.01	0.05	0.16	0.47	0.27	0.01	0.01
He	0.00	0.01	0.03	0.04	0.18	0.03	0.07	0.64	0.00
Ri	0.09	0.00	0.00	0.01	0.15	0.26	0.12	0.01	0.36

Se observó que las clases más estables son las herbazales (0.64), bosque abierto bajo (0.33) y mosaico de cultivo con cobertura (0.39), lo que indicó que estos usos del suelo presentan baja probabilidad de transformación hacia otras clases. Por el contrario, coberturas como tejido urbano continuo (0.22), áreas de extracción minera en menor escala (0.19) y pastos (0.27) mostraron baja permanencia, evidenciando una tendencia al cambio. Particularmente, este comportamiento reflejó una dinámica territorial de sustitución y reajuste del paisaje, posiblemente a expensas de áreas productivas, caracterizada por el predominio de coberturas antrópicas y la reducción de áreas naturales (Tahir et al.,2025).

4.8. Cambio de cobertura y uso del suelo para los años 2000 – 2024 y su proyección 2050 y 2070

En función a la proyección de los años 2050 y 2070, se evidenciaron transformaciones significativas en las coberturas y usos del suelo en el distrito de Querocoto como se muestra en la Tabla 18, se destacó la marcada reducción de los bosques, tanto abiertos como densos, los cuales en conjunto pasaron de 9950.26 ha en el año 2000 a solo 3820.42 ha en 2070, lo que represento una pérdida de más del 60%. Este retroceso forestal se acompañó por un aumento considerable de herbazales (de 1554.71 ha a 3207.57 ha) y arbustales (de 3520.32 ha a 5997.43 ha), lo cual indicó procesos de degradación progresiva del ecosistema y sustitución del bosque por vegetación secundaria. Asimismo, se registró un incremento del mosaico de cultivos (de 7826 ha a 9 102.20 ha), evidenciando una intensificación de las actividades agropecuarias, posiblemente asociada al crecimiento poblacional y la presión sobre tierras agrícolas. Por otro lado, el aumento en la categoría de ríos (de 32.30 ha a 153.06 ha) no precisamente por un mayor volumen hídrico, sino por procesos geomorfológicos como la erosión de riberas, desbordamientos o ampliación del cauce debido a cambios en el uso del suelo circundante.

Tabla 18

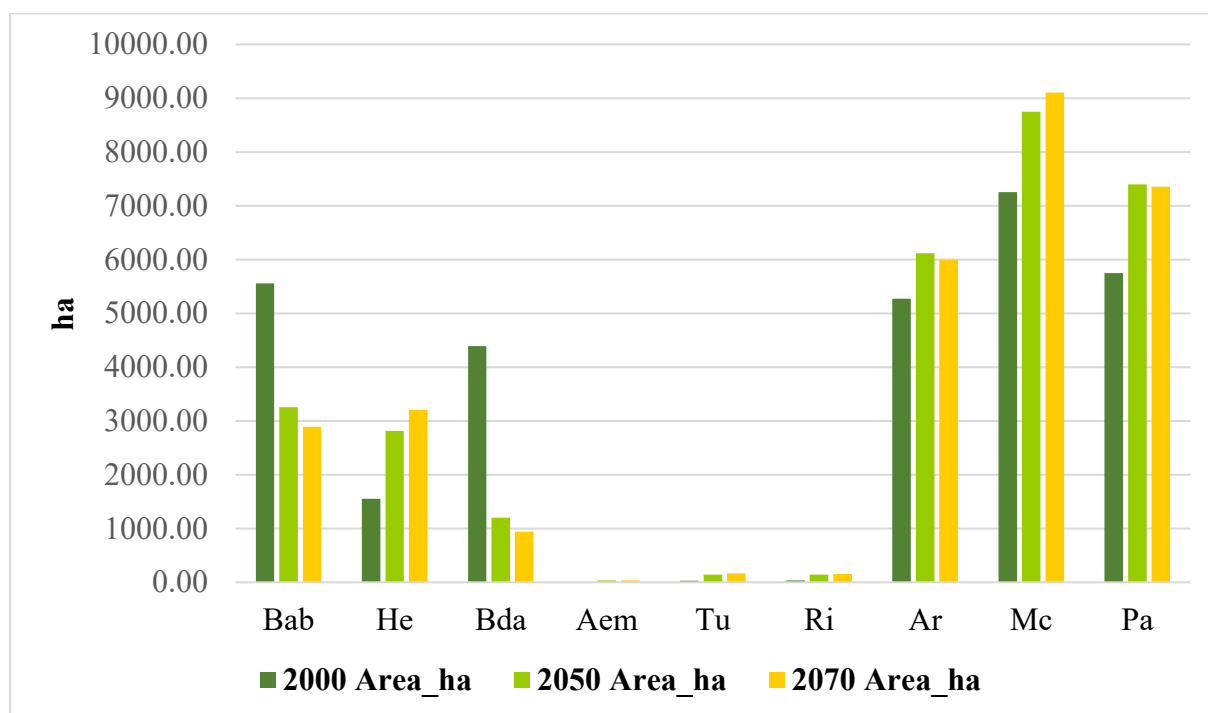
Cambio de cobertura y uso del suelo para los años 2020 - 2024

Cobertura	Cod	2000	2012	2024	2050	2070
		Área_ha	Área_ha	Área_ha	Área_ha	Área_ha
Bosque abierto bajo	Bab	5560.74	5272.30	4460.09	3256.17	2893.73
Herbazal	He	1554.71	2287.43	2254.36	2812.60	3207.57
Bosque denso alto	Bda	4389.52	3936.59	2419.54	1203.00	936.69
Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Aem	4.01	16.09	28.35	35.46	36.63
Tejido urbano continuo	Tu	31.41	61.30	88.38	139.06	166.90
Ríos	Ri	32.30	45.02	79.22	140.77	153.06
Arbustal	Ar	5273.52	4526.53	5767.25	6114.69	5997.48
Mosaico de cultivos	Mc	7256.80	9437.57	7935.25	8750.65	9102.20
Pastos	Pa	5745.97	4266.15	6816.54	7396.58	7354.71
Total		29848.98	29848.98	29848.98	29848.98	29848.98

En cuanto a la evolución espacial de las coberturas, la Figura 32 muestra la proyección del área (ha) por clase de cobertura para el 2050 y 2070, tomando como referencia data como base 2000 - 2024. En conjunto, los resultados aludieron a una expansión de las coberturas antrópicas y una contracción de las coberturas naturales.

Figura 32

Proyección de cobertura y uso del suelo en Querocoto (2000 – 2070)



Nota. Elaboración propia

4.8. Contrastación de hipótesis

Los resultados obtenidos del análisis multitemporal de la cobertura y uso del suelo mediante el modelo CORINE Land Cover (CLC) permitieron confirmar la hipótesis planteada. Durante el periodo 2000–2024 se registraron variaciones espaciales significativas en las clases de cobertura, destacando la reducción progresiva del bosque denso alto y bosque abierto bajo, junto con el incremento de coberturas antrópicas como mosaico de cultivos, pastos, arbustal y áreas de extracción minera. Estas variaciones reflejaron un proceso continuo de transformación del paisaje en el distrito de Querocoto.

Asimismo, las proyecciones generadas con el modelo CA–Markov para los años 2050 y 2070 mostraron que esta dinámica no solo se mantendría, sino que presentaba una tendencia a intensificarse, indicando una mayor probabilidad de expansión de coberturas antrópicas y una disminución continua de las coberturas naturales consistente con lo reportado en estudios previos realizados en la región Cajamarca (Aguilar et al., 2023; Herrera, 2019; Moschella, 2025). En conjunto, la evidencia empírica validó la hipótesis de investigación, demostrando que la cobertura y uso del suelo en Querocoto experimentó un patrón marcado de transformación que, según la proyección estimada, continuaría acentuándose en las próximas décadas.

4.9. Discusión de resultados

El presente estudio analizó los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto empleando la metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada para el Perú (MINAM, 2015), lo que permitió una clasificación detallada de nueve categorías representativas. La combinación con imágenes Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI/TIRS fue eficaz para identificar transformaciones espaciales en un territorio de 29 848.98 ha. En términos de calidad de la clasificación, se obtuvieron índices Kappa de 0.96 para 2000 y 2012, y de 0.97 para 2024, lo que indicó concordancia casi perfecta y refuerza la comparabilidad intertemporal de los resultados, lo que aportó confianza a la calibración del modelo CA–Markov utilizado para las proyecciones.

El análisis multitemporal del periodo 2000 – 2024 indicó pérdida significativa de cobertura boscosa, el bosque denso alto disminuyó 6.6 % (-1969.98 ha) y bosque abierto bajo disminuyó 3.69 % (-1100.65 ha) debido a la expansión de coberturas antrópicas: tejido urbano continuo se expandió en un 0.19 % (+56.97 ha), minería aumentó 0.09 % (+24.34 ha), cultivos aumentó 2.27 % (+678.45 ha) lo que indica expansión urbana, minera y ampliación de campos agrícolas, además las coberturas: pastos aumentó 3.59 % (+1070.57 ha), herbazal 2.34 % (+699.65 ha) y

arbustal 1.65 % (+493.73 ha) debido a la regeneración natural, suelos en descanso o sin uso intensivo; asimismo, la cobertura ríos aumentó 0.16 % (+46.92 ha), la expansión de esta cobertura no necesariamente indicó un aumento del caudal de los ríos, sino asociado a factores geoambientales como, erosión de riberas y ensanchamiento de cauce, cambios morfológicos del río (meandros, divagaciones) y precisión de clasificación (Vanacker et al., 2023).

Los resultados mostraron una tendencia sostenida hacia la pérdida de coberturas naturales, particularmente los bosques densos y abiertos y una expansión progresiva de coberturas antrópicas (cultivos, pastos y zonas urbanas) entre 2000 y 2024. Estos cambios reflejaron la presión de las actividades agrícolas, ganaderas y mineras, que han desplazado la vegetación nativa en amplias zonas del distrito. Este patrón fue consistente con lo reportado por Lumba (2023) y Vega (2022), quienes identificaron una dinámica similar de deforestación y expansión agropecuaria en distintas provincias de la región Cajamarca.

La reducción significativa del bosque denso alto y del bosque abierto bajo fueron concordantes con estudios realizados en ecosistemas andinos del norte peruano, donde el cambio de uso del suelo responde principalmente a la fragmentación del bosque, la extracción de leña y la habilitación de nuevas tierras agrícolas (Cano et al., 2023; Chavarría y Lanuza, 2021). En Querocoto, este proceso se asoció también con la ampliación de áreas de cultivo en laderas y zonas de pendiente moderada observado durante la validación en campo y en la interpretación visual de imágenes. Por otro lado, el incremento de pastos, herbazales y arbustales no necesariamente representaron una recuperación ecológica, sino procesos de regeneración secundaria o abandono temporal de tierras agrícolas, lo cual coincide con la dinámica descrita por Maquera (2020) para ecosistemas altoandinos.

La proyección elaborada mediante el modelo CA–Markov, revelan una intensificación de estas tendencias. La drástica disminución proyectada del bosque denso (−78 %) y abierto (−47.9 %)

contrastó con el crecimiento sostenido del tejido urbano, las áreas de extracción minera y los pastos, lo cual sugirió una transición hacia un paisaje predominantemente antrópico. Tendencias similares fueron identificadas en otros distritos de los Andes peruanos, donde la falta de ordenamiento territorial ha favorecido la expansión descontrolada de actividades humanas (Naikoo et al., 2020; Zumaeta, 2021). Este escenario proyectado al 2050 y 2070 reafirmó la tendencia identificada durante el análisis multitemporal, evidenciando la expansión progresiva de coberturas antrópicas y la reducción continua de coberturas naturales en el distrito de Querocoto. Dichos resultados coincidieron con lo reportado por Cano et al. (2023) quienes señalaron que este tipo de transformaciones del paisaje reflejaban una intensificación de las presiones humanas sobre los ecosistemas andinos, con implicancias directas en la pérdida de cobertura vegetal y en la alteración del equilibrio ambiental. El estudio aportó evidencia científica sobre la magnitud y dirección de los cambios ocurridos y proyectados, consolidando el entendimiento de la dinámica territorial del distrito.

Desde el punto de vista metodológico, el uso del algoritmo Random Forest demostró ser altamente eficiente en la clasificación supervisada, al presentar una mayor precisión y menor rango de error radiométrico en comparación con métodos tradicionales como Máxima Verosimilitud o Mínima Distancia (Martín, 2020). No obstante, se identificaron limitaciones relacionadas con la resolución espacial de las imágenes Landsat (30 m), la nubosidad y la complejidad topográfica del área, factores que pueden afectar la exactitud de la clasificación. Asimismo, el modelo CA–Markov, aunque robusto para proyectar escenarios espaciales, depende de la estabilidad de las transiciones históricas, por lo que su capacidad predictiva podría disminuir ante cambios socioeconómicos abruptos o políticas ambientales futuras (Cleyton et al., 2024).

En conjunto, los hallazgos de este estudio confirmaron que el distrito de Querocoto atraviesa un proceso acelerado de transformación del paisaje, caracterizado por la pérdida de ecosistemas

naturales y la expansión de usos productivos. Estos resultados no solo validaron la hipótesis planteada, sino que aportan una base científica para la gestión territorial, la restauración ecológica y la planificación del desarrollo local. En concordancia con el Plan de Desarrollo Local Concertado de Querocoto (Municipalidad Distrital de Querocoto, 2022).

En conjunto, los resultados evidenciaron que en el distrito de Querocoto, durante el periodo 2000–2024, se produjo una expansión sostenida de las coberturas antrópicas, especialmente del mosaico de cultivos, pastos y arbustales, junto con incrementos puntuales en el tejido urbano y las áreas de extracción minera. De manera paralela, se observó una retracción progresiva de las coberturas naturales, principalmente del bosque denso alto y del bosque abierto bajo. La concordancia entre el análisis multitemporal y las matrices de transición respaldó la consistencia y solidez de este patrón de cambio, mientras que los escenarios proyectados al 2050 y 2070 replicaron la misma tendencia, sugiriendo su continuidad e incluso una posible intensificación en las próximas décadas. Estos hallazgos proporcionaron una caracterización empírica y comparativa en el tiempo del cambio de cobertura en el distrito, constituyendo una línea base valiosa para seguimientos futuros y evaluaciones en nuevos periodos de observación.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El estudio permitió identificar nueve categorías de cobertura y uso del suelo en el distrito de Querocoto, aplicando la metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014), la cual clasifica las coberturas a diferentes niveles de detalle. En este caso, se trabajó con el nivel III, correspondiente a la clasificación más específica, que permitió una caracterización detallada del territorio distrital. Las coberturas más representativas fueron tejido urbano continuo, áreas de extracción de minería e hidrocarburos, pastos, mosaico de cultivos, bosque denso alto, bosque abierto bajo, herbazal y arbustal. La cobertura mosaico de cultivos se destaca como la de mayor extensión territorial, seguido por la cobertura bosque abierto bajo y la cobertura pastos. Asimismo, el análisis revela aumento sustancial en cuanto a mosaico de cultivos y disminución progresiva de bosque denso alto y bosque abierto bajo. Asimismo, se evidenció un incremento de las coberturas agrícolas y urbanas y una disminución sostenida de los bosques, reflejando un proceso de transformación progresiva del paisaje.

La clasificación de las coberturas para el periodo 2000–2024, realizada mediante el software QGIS y siguiendo la metodología CORINE Land Cover, permitió identificar una dinámica clara de cambio territorial, marcada por el crecimiento de las coberturas de origen antrópico (pastos, cultivos y urbanización) y la reducción de coberturas naturales. La aplicación del algoritmo Random Forest y la validación de precisión mediante la matriz de confusión garantizaron resultados confiables y replicables, que sirvieron de base para el análisis multitemporal y la proyección de escenarios futuros.

El análisis multitemporal de los años 2000–2024 evidenció una pérdida significativa de ecosistemas naturales, destacando la reducción del bosque denso alto en un 6.6 % (–1 969.98 ha) y del bosque abierto bajo en un 3.69 % (–1 100.65 ha), atribuida principalmente a la expansión agrícola, urbana y minera. En contraposición, coberturas como pastos, herbazales y arbustales mostraron incrementos, posiblemente vinculados a procesos de regeneración natural, suelos en descanso o uso no intensivo. El aumento de la cobertura de ríos responde más a procesos geomorfológicos y ajustes de clasificación satelital que a un incremento real del recurso hídrico.

La proyección de cobertura a los años establecidos, evidenciaron una continuación e intensificación de la tendencia actual. Se proyectó una disminución drástica del bosque denso alto (de 2 419.54 ha en 2024 a 936.69 ha en 2070, equivalente a una pérdida acumulada de 61.3 %) y del bosque abierto bajo (de 4 460.09 ha a 2 893.73 ha). En contraste, se proyectó el incremento de las coberturas antrópicas, destacando los pastos (7 354.71 ha en 2070), el mosaico de cultivos (9 102.20 ha), el tejido urbano continuo (166.90 ha) y las áreas mineras (46.63 ha).

RECOMENDACIONES

Profundizar en investigaciones complementarias que analicen la dinámica de deforestación y cambio de uso del suelo en Querocoto, integrando variables socioeconómicas, climáticas y geológicas que expliquen con mayor precisión las causas y consecuencias de la transformación del paisaje. Se sugiere realizar estudios a mayor resolución espacial y temporal, que permitan identificar los procesos de cambio a nivel parcelario o comunal, fortaleciendo así la planificación ambiental del distrito.

A la Municipalidad Distrital de Querocoto, se recomienda implementar programas de sensibilización y educación ambiental, orientados a promover la conservación y restauración de ecosistemas boscosos, en especial del bosque denso alto y el bosque abierto bajo, cuya pérdida acelerada afecta directamente la biodiversidad, la regulación hídrica y la estabilidad climática local.

Fomentar prácticas agrícolas sostenibles y agroecológicas, priorizando el uso eficiente del suelo y la protección de los ecosistemas naturales. Esto incluye promover la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la reforestación con especies nativas, reduciendo así la presión sobre los bosques remanentes y los suelos frágiles del distrito.

Desde una perspectiva metodológica, se recomienda que futuras investigaciones complementen el análisis de cambio de cobertura con datos de mayor resolución espacial (por ejemplo, imágenes Sentinel-2 o PlanetScope) y el uso de índices espectrales (NDVI, NDBI, NDWI) que mejoren la detección de cambios en la vegetación, áreas urbanas y cuerpos de agua.

Asimismo, se sugiere comparar el rendimiento de diferentes clasificadores supervisados, como Support Vector Machine (SVM) o Redes Neuronales Artificiales (ANN), frente al algoritmo

Random Forest, con el fin de evaluar su precisión en zonas con alta heterogeneidad topográfica, como Quercocoto.

Finalmente, se propone fortalecer la articulación institucional entre la municipalidad, instituciones educativas y entidades ambientales para el monitoreo permanente de la cobertura del suelo mediante herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), asegurando una gestión adaptativa y sostenible del territorio.

CAPITULO VI.

REFERENCIAS

- Aguilar, S. J., Tafur, C. H., Cubas, I. N., & Revilla, A. J. (2023). Desarrollo sostenible y conflictos medioambientales causados por la minería en la Región Cajamarca. *Revista Latinoamérica de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 3972–3980. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.883>
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. Á., & Escolano, S. (2024). Trends of land use and land cover change in the upper-middle Mira basin in Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 81, 155-179. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25248>
- Aldás Andrade, A. P. (2019). Análisis de la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, mediante el uso de Google Earth Engine. Pontificia Universidad Católica del Ecuador [Tesis pregrado], Quito. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/16619>
- Ariza-López, F. J., Rodríguez-Avi, J., & Alba-Fernández, V. (2018). Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 215-226. <https://doi.org/10.21138/gf.591>
- Avalos Jiménez, A., Gómez Delgado, M., Aguilera Benavente, F., & Flores Vilchez, F. (2019). Simulación del crecimiento urbano de la zona metropolitana Tepic - Xalisco, México. *Estudios Geográficos*. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201938.018>
- Barboza Castro, R. (2021). Diversidad ornitológica del Área Natural Protegida “Bosque de Protección Pagaibamba”. Querocoto, Cajamarca. Enero – octubre 2018. [Tesis de

pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11640>

Curatola Fernández, G., Makowski Gioannoni, S., Delgado Florián, E., Rengifo, P., Rascón, J., Chichipe Vela, A., Scheske, C. (2023). Mapeo de turberas de gran altitud para fundamentar una estrategia de conservación del paisaje en los Andes del norte del Perú. *Environmental Conservation*, 50(4), 212 - 219.

<https://doi.org/10.1017/S0376892923000267>

Cano, D., Pizarro, S., Cacciuttolo, C., Peñaloza, R., Yaranga, R., & Gandini, M. (2023). Study of ecosystem degradation dynamics in the Peruvian highlands: Landsat time-series trend analysis (1985–2022) with ARVI for different vegetation cover types. *Sustainability*, 15 (21)(15472). <https://doi.org/10.3390/su152115472>

Chavarría Solís, E., y Lanuza Osorio, D. (2021). Evaluación multitemporal del cambio de uso del suelo y cobertura vegetal mediante teledetección espacial en la Reserva Ecológica El Bajo, en el período 1986-2020. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].

<http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/8221/1/245715.pdf>

Chen, R., Han, L., Zhao, Y., Zhao, Z., Liu, Z., Li, R., Xia, L., & Zhai, Y. (2024). Extraction and monitoring of vegetation coverage based on uncrewed aerial vehicle visible image in a post gold mining area. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11.

<https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1171358>

Clark Labs. (2020). Software de modelado y monitoreo geoespacial TerrSet 2020. *Clark Labs*.

<https://clarklabs.org/terrset/>

Cleyton, B., Chavez, F., Asesor, C., Nilton, M., & Rojas Briceño, B. (2024). Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el distrito cafetalero de Ocumal, Luya Amazonas. [Tesis

- para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas] <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3404>
- Distrito.pe. (2021). El distrito de Querocoto. <https://www.distrito.pe/distrito-querocoto.html>
- Espinosa Zúñiga , J. (2020). Aplicación de algoritmos Random Forest y XGBoost en una base de solicitudes de tarjetas de crédito. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21.3.022>
- European Environment Agency [EEA]. (2019). Cobertura terrestre de CORINE. Obtenido de <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/copernicus/api/records/71c95a07-e296-44fc-b22b-415f42acfd0?language=all>
- European Space Agency. (2014). eduspace. ¿Qué es la teledetección?: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMO1U3FEXF_0.html
- Gonzalez Porras, C. A. (2020). *Modelo predictivo del cambio y uso del suelo entre los años 1990 a 2030 en el Parque Nacional Machalilla*, [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio institucional. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GONZALEZ%20PORRAS%20CESAR%20ALBERTO%20\(1\).pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GONZALEZ%20PORRAS%20CESAR%20ALBERTO%20(1).pdf)
- Hadibasyir, H. Z., Firdaus, N. S., Fikriyah, V. N., & Sari, D. N. (2024). Assessing performance of modified spectral indices as land surface temperature indicators in tropical urban areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1190(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1190/1/012005>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., María del Pilar Baptista Lucio, D., & Méndez Valencia Christian Paulina Mendoza Torres, S. (2018). Metodología de la investigación, sexta edición. *Booksmedicos.org*. <https://goo.su/CISO1UQ>

- Herrera Edquen, W. (2019). Cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Llapa – Cajamarca, periodo 2003-2018 [tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3174>
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2024). Incendio Forestal en el distrito de Querocoto - Cajamarca. Reporte complementario N° 11696 - 25/11/2024 /COEN - INDECI. <https://goo.su/vUXmA3>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (2023). Padrón Minero Nacional 2023. Ministerio de Energía y Minas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4368>
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2024). Incendio Forestal en el distrito de Querocoto - Cajamarca. Reporte complementario N° 11696 - 25/11/2024 /COEN - INDECI. <https://goo.su/vUXmA3>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (2023). Padrón Minero Nacional 2023. Ministerio de Energía y Minas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4368>
- Jara Chávez, J. J. (2023). Cambios de cobertura y uso del suelo en el área de influencia de la carretera Iquitos – Nauta, Periodo 1985 – 2022. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cambios de cobertura y uso del suelo en el área de influencia de la carretera Iquitos - Nauta, Periodo 1985 – 2022.: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/19797>
- Lumba Huamán, E. N. (2023). Análisis de la cobertura y usos de la tierra en el periodo 2000-2020 del distrito de Chalamarca-Chota-Perú [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unach.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bc5dea87-640b-4878-872d-660f66ed0c41/content>

- Madroñero-Palacios, S., & Guzmán-Hernández, T. (2018). Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(3). <https://doi.org/10.18845/tm.v31i3.3907>
- Maillard, O., Aguilera, V., Uyuni, G., Bolivia, F. N., Totaitú, R., Castilla Y Calle, R., Barrio, L., Palmas, S., & Cruz De La Sierra, B. (2019). Evaluation of deforestation and degradation detection using CLASlite: case study in a transition mountainous area from Bolivia. <https://www.researchgate.net/publication/335526996>
- Maquera Callo, E. A. (2020). Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el departamento de Tacna, periodo 2007. 2012 y 2017. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/2361>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal Ministerio del ambiente: <https://www.gob.pe/minam>
- Mira McWilliams, J., & Ahrazem Dfuf, I. (2018). Análisis de sensibilidad mediante Random Forest [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid. Repositorio institucional, Madrid. https://oa.upm.es/53368/1/TFG_MARTA_GARCIA_RUIZ_DE_LEON.pdf
- Moschella Miloslavich, P. (2025). La percepción de la urbanización de tierras agrícolas en el valle andino de Cajamarca, Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, 16. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202502.D003>
- Municipalidad Distrital de Querocoto. (2022). Plan de Desarrollo Local Concertado . <https://declara.jne.gob.pe/assets/plangobierno/fileplangobierno/3747.pdf>
- McCullum, A., Beaudry, B., Torres-Pérez, J., & Cruz, S. (2024). National Aeronautics and Space Administration Spectral Indices for Land and Aquatic Applications Part 1:

Overview of Spectral Indices. https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-10/Spectral_Indices_Part1.pdf

Naikoo, M. W., Rihan, M., Ishtiaque, M., & Shahfahad. (2020). Analyses of land use land cover (LULC) change and built-up expansion in the suburb of a metropolitan city: Spatio-temporal analysis of Delhi NCR using landsat datasets. *Journal of Urban Management*, 9(3), 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.05.004>

Novo, A., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., & Balado, J. (2022). Spatial analysis of tree species before forest fires. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B3-2022), 959-966. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-959-2022>

Novo, A., Rodríguez, J. L., Acuña-Alonso, C., Álvarez, X., & Lorenzo, H. (2022). Teledetección y Sistemas de Información Geográfica en el ámbito forestal. *Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa*, 201-208. https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/113233/1/Teledeteccion_sistemas_informacion.pdf

Ñontol Anyaypoma, Y. M. (2018). Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Asunción para el período 2002 – 2017 [Tesis de Pregreado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://goo.su/CbbYQ>

Perea-Ardila, M. A., Vaquiro, J. R., & Rodríguez-Valenzuela, J. (2022). Determinación de la cobertura y uso del suelo utilizando RapidEye en el Parque Nacional Natural los Nevados y su zona amortiguadora en Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(2), 148-176. <https://doi.org/10.15359/rca.56-2.8>

Purwanto, Siti Latifah, Yonariza, Farid Akhsani, Indra Sofiana, E., & Riski Ferdiansah, M. (2023). Land cover change assessment using random forest and CA markov from

- remote sensing images in the protected forest of South Malang, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* (32), 101061. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101061>
- Prieto-Amparan, J. A., Villarreal-Guerrero, F., Martinez-Salvador, M., Manjarrez-Domínguez, C., Santellano-Estrada, E., & Pinedo-Alvarez, A. (2018). Atmospheric and radiometric correction algorithms for the multitemporal assessment of grasslands productivity. *Remote Sensing*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/rs10020219>
- Ragheb Abdulrazak Adlia, A., & Hatim Mahmoud, A. (2024). The role of artificial intelligence techniques in enhancing project completion speed: a study on using LSTM networks for predicting delay times this work is licensed under a creative commons attribution-noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). *Journal of Economics and Administrative Sciences*, 30(142). <https://doi.org/10.33095/n7rfbg91>
- Romero, F. S. (2020). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Scripta Ethnologica*, 79 - 90. <https://www.redalyc.org/pdf/148/14802905.pdf>
- Roncal Rabanal, M. (2018). Línea base de flora y fauna del bosque de protección Pagaibamba, en el marco del proyecto “Recuperación del servicio hídrico de área de amortiguamiento del bosque de protección Pagaibamba, distrito de Querocoto, Provincia de Chota, región Cajamarca”. Gobierno Regional de Cajamarca: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
- Sánchez, Y. S., Graña, A. M., Santos-Francés, F., Ramos, J. L. R., & Criado, M. (2021). Multitemporal analysis of land use changes and their effect on the landscape of the jerte valley (Spain) by remote sensing. *Agronomy*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy11081470>

- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP]. (2019). Bosque de Protección Pagaibamba. <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1834073-bosque-de-proteccion-pagaibamba>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP]. (2017). Maestro del Bosque de Protección Pagaibamba 2017 - 2021. <https://sis.sernanp.gob.pe/biblioteca/?publicacion=1564>
- Tahir, Z., Muhammad , H., & Syed Amer, M. (2025). Predicting land use and land cover changes for sustainable land management using CA-Markov modelling and GIS techniques. *Scientific Reports*, 3271. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87796-w>
- Tito, R., Salinas, N., Cosio, E., Boza Espinoza, T., Muñiz , J., Aragón, S., Román Cuesta, R. M. (2022). Bosques secundarios en el Perú: provisión diferencial de servicios ecosistémicos en comparación con otras transiciones forestales post-deforestación. *Ecology & Society*, 27(3). <https://doi.org/10.5751/ES-13446-270312>
- U.S. Geological Survey. (2024). EarthExplorer [Base de datos]. U.S. Department of the Interior: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- United States Environmental Protection Agency. (2024). Uso del suelo. Informe sobre el medio ambiente: <https://www.epa.gov/report-environment/land-use#definition>
- Vanacker, V., Molina, A., Govers, G., & J. Poesen. (2023). River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. *Geomorphology*, 340-353. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.05.013>
- Vásquez, H., Huamán Puscán, M., Bobadilla, L., Zagaceta, H., Valqui, L., Maicela, J., & Silva López, J. (2023). Evaluación de la degradación de pasturas a través de índices de

- vegetación de las principales microcuencas ganaderas de la región Amazónica. *ScienceDirect*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100315>
- Vega Chavez, A. (2022). Análisis del índice normalizado de vegetación (NDVI) del bosque de protección Pagaibamba, Cajamarca Perú, 2016 - 2022 [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/34150>
- Velez, A. (2016). Incendios en Perú: Tres áreas naturales protegidas en peligro. *Mongabay*. https://es.mongabay.com/2016/11/biodiversidad-incendios_forestales-areas_naturales_protegidas-conservacion-deforestacion-peru/
- Winkler, A. J., Myneni, R. B., Hannart, A., Sitch, S., Haverd, V., Lombardozzi, D., Arora, V. K., Pongratz, J., Nabel, J. E. M. S., Goll, D. S., Kato, E., Tian, H., Arneeth, A., Friedlingstein, P., Jain, A. K., Zaehle, S., & Brovkin, V. (2021). Slowdown of the greening trend in natural vegetation with further rise in atmospheric CO₂. *Biogeosciences*, 18(17), 4985-5010. <https://doi.org/10.5194/bg-18-4985-2021>
- Zhang, J., Khoshbakht, M., Jianlin, L., Zhonghua, T., Xiong, J., & Jiang, M. (2022). A clustering review of vegetation-indicating parameters in urban thermal environment studies towards various factors. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103340>
- Xu, J., Zhang, Y., & Miao, D. (2020). Three-way confusion matrix for classification: A measure driven view. *Information Sciences*, 507, 772-794. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.06.064>
- Xu, J., Zhao, H., Yin, P., Jia, D., & Li, G. (2018). Remote sensing classification method of vegetation dynamics based on time series Landsat image: a case of opencast mining area in China. *Eurasip Journal on Image and Video Processing*, 2018(1). <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0360-0>

- Zafar, Z., Zubair, M., Zha, Y., Fahd, S., & Ahmad Nadeem, A. (2024). Performance assessment of machine learning algorithms for mapping of land use/land cover using remote sensing data. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 27(2), 216-226. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2024.03.003>
- Zhao, J., Feng, X., Deng, L., Yang, Y., Zhao, Z., Zhao, P., Peng, C., & Fu, B. (2020). Quantifying the effects of vegetation restorations on the soil erosion export and nutrient loss on the Loess Plateau. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.573126>
- Zhang, J., Khoshbakht, M., Jianlin, L., Zhonghua, T., Xiong, J., & Jiang, M. (2022). A clustering review of vegetation-indicating parameters in urban thermal environment studies towards various factors. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103340>
- Zumaeta Lozano, 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). <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.607>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Figura 33

Cambio de cobertura y uso del suelo año 2000 – 2024

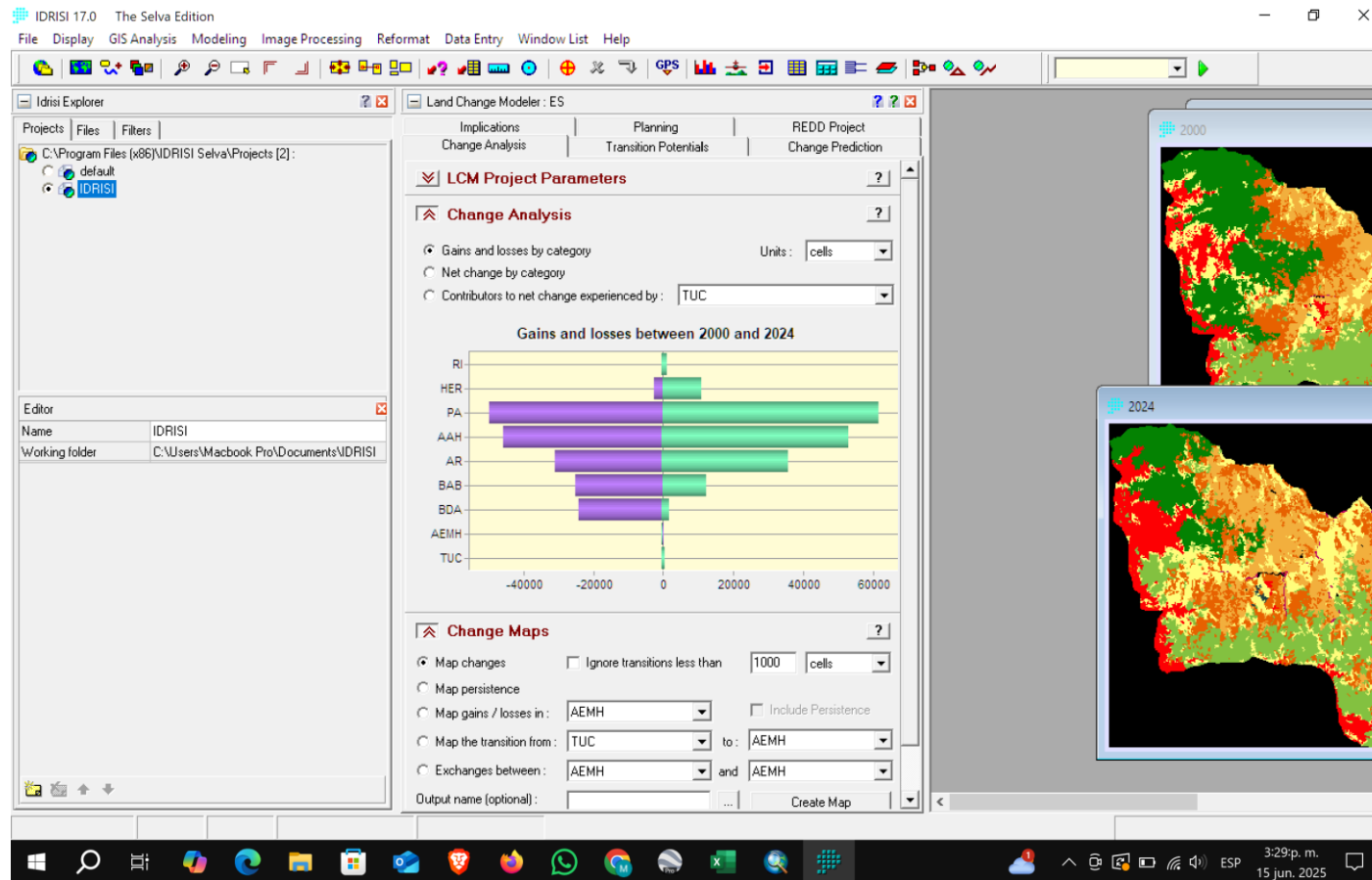


Figura 34

Procesamiento de análisis de cambios

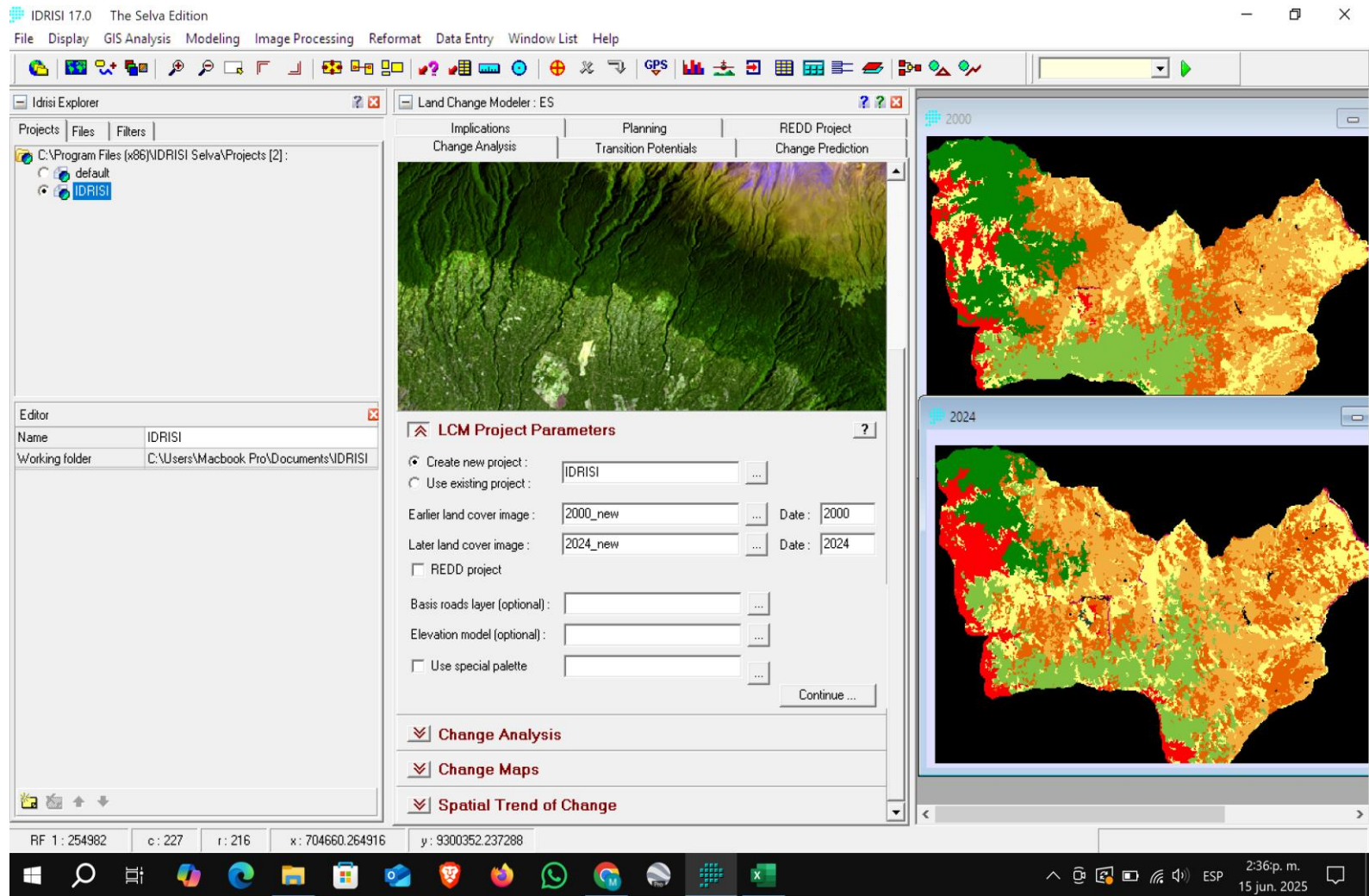


Figura 35

Modelado y proyección de cambio de cobertura mediante CA-Markov 2000 – 2024

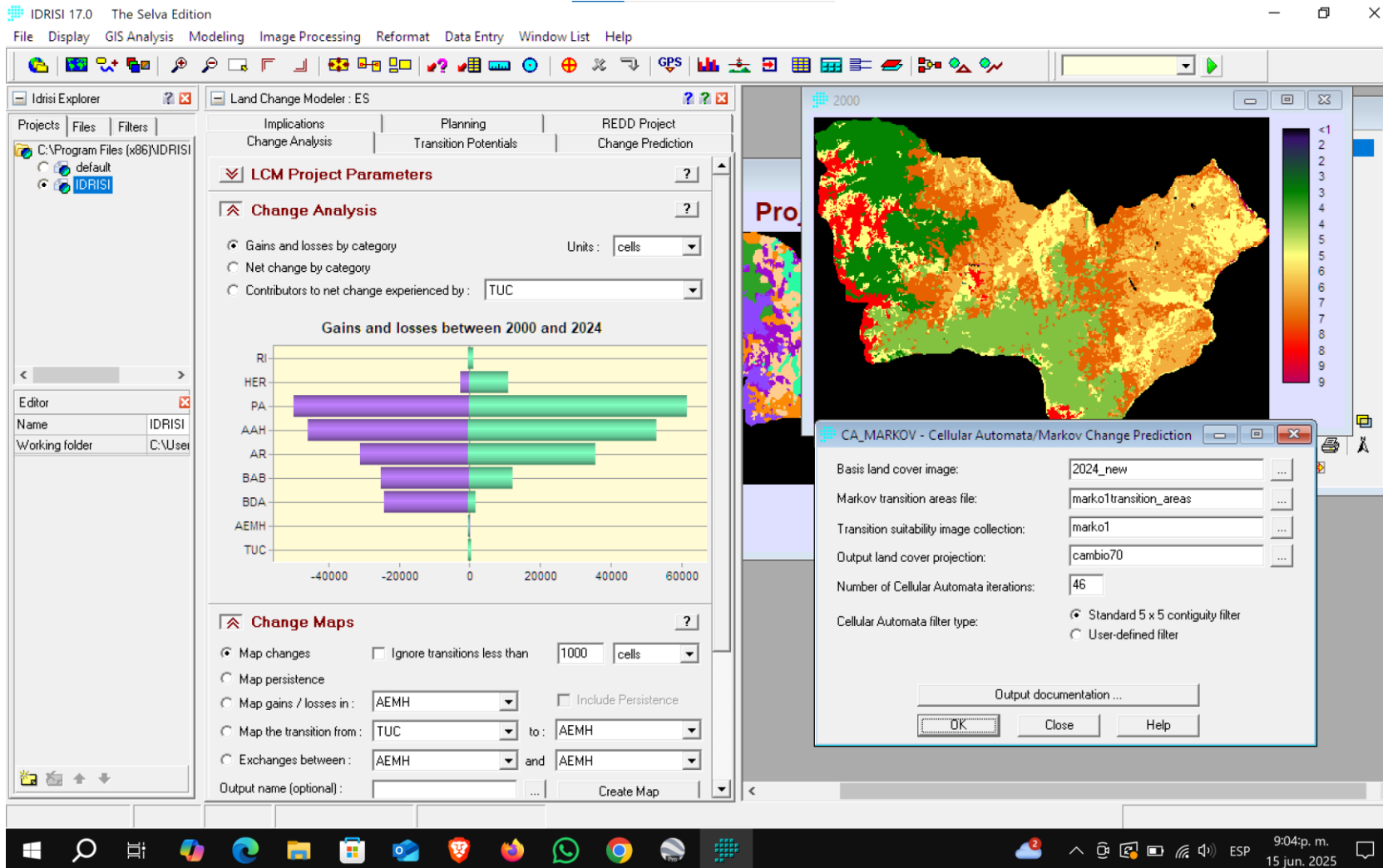


Figura 36

Ganancias y pérdidas entre los años 2000 y 2024

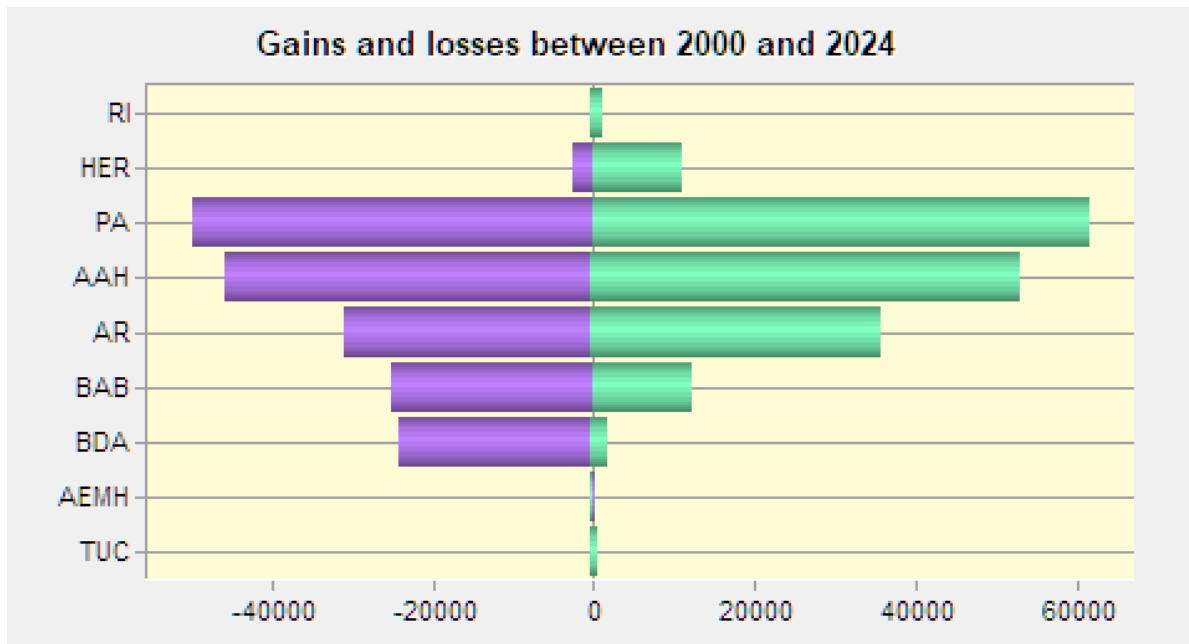
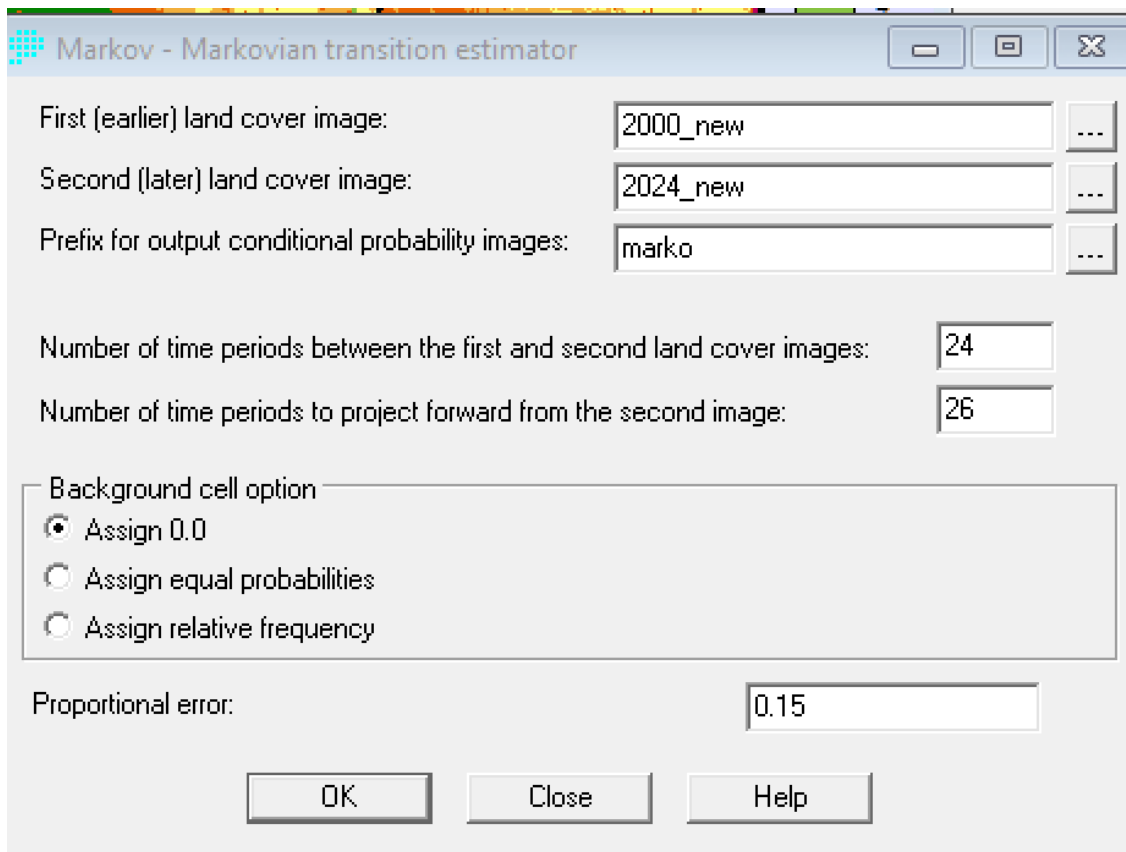


Figura 37

CA_Markov para el año 2050



Given: Probability of changing to:

Cl. 1 Cl. 2 Cl. 3 Cl. 4 Cl. 5 Cl. 6 Cl. 7 Cl. 8 Cl. 9

Class 1 : 0.3449 0.0036 0.0000 0.0268 0.1979 0.2286 0.1694 0.0000 0.0288

Class 2 : 0.0000 0.3114 0.0012 0.0014 0.3513 0.1211 0.2136 0.0000 0.0000

Class 3 : 0.0000 0.0000 0.3722 0.1662 0.2031 0.0790 0.1430 0.0365 0.0000

Class 4 : 0.0000 0.0000 0.0010 0.4627 0.2019 0.1343 0.1934 0.0051 0.0017

Class 5 : 0.0034 0.0036 0.0312 0.0421 0.3444 0.1811 0.1914 0.1936 0.0092

Class 6 : 0.0062 0.0007 0.0023 0.0233 0.1765 0.4426 0.3402 0.0011 0.0070

Class 7 : 0.0049 0.0002 0.0027 0.0458 0.1336 0.4870 0.3170 0.0000 0.0087

Class 8 : 0.0000 0.0075 0.0280 0.0271 0.1735 0.0000 0.0475 0.7165 0.0000

Class 9 : 0.1053 0.0000 0.0000 0.0000 0.1230 0.2168 0.0591 0.0000 0.4958

Given :	Probability of changing to :								
	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9
Class 1	: 0.3449	0.0036	0.0000	0.0268	0.1979	0.2286	0.1694	0.0000	0.0288
Class 2	: 0.0000	0.3114	0.0012	0.0014	0.3513	0.1211	0.2136	0.0000	0.0000
Class 3	: 0.0000	0.0000	0.3722	0.1662	0.2031	0.0790	0.1430	0.0365	0.0000
Class 4	: 0.0000	0.0000	0.0010	0.4627	0.2019	0.1343	0.1934	0.0051	0.0017
Class 5	: 0.0034	0.0036	0.0312	0.0421	0.3444	0.1811	0.1914	0.1936	0.0092
Class 6	: 0.0062	0.0007	0.0023	0.0233	0.1765	0.4426	0.3402	0.0011	0.0070
Class 7	: 0.0049	0.0002	0.0027	0.0458	0.1336	0.4870	0.3170	0.0000	0.0087
Class 8	: 0.0000	0.0075	0.0280	0.0271	0.1735	0.0000	0.0475	0.7165	0.0000
Class 9	: 0.1053	0.0000	0.0000	0.0000	0.1230	0.2168	0.0591	0.0000	0.4958

Figura 38

CA_Markov para el año 2070

Markov - Markovian transition estimator

First (earlier) land cover image: 2000_new ...

Second (later) land cover image: 2024_new ...

Prefix for output conditional probability images: marko ...

Number of time periods between the first and second land cover images: 24

Number of time periods to project forward from the second image: 26

Background cell option

- Assign 0.0
- Assign equal probabilities
- Assign relative frequency

Proportional error: 0.15

OK Close Help

Module Results

Given : Probability of changing to :

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9
Class 1	0.2170	0.0033	0.0041	0.0376	0.2027	0.2803	0.2044	0.0218	0.0289
Class 2	0.0016	0.1882	0.0075	0.0189	0.3073	0.2024	0.2301	0.0402	0.0038
Class 3	0.0010	0.0006	0.2407	0.1571	0.2070	0.1507	0.1740	0.0664	0.0025
Class 4	0.0014	0.0005	0.0052	0.3307	0.2053	0.2054	0.2155	0.0313	0.0046
Class 5	0.0046	0.0035	0.0286	0.0511	0.2607	0.2237	0.2034	0.2140	0.0105
Class 6	0.0074	0.0010	0.0061	0.0378	0.1924	0.3914	0.3298	0.0238	0.0102
Class 7	0.0066	0.0007	0.0059	0.0536	0.1646	0.4722	0.2746	0.0105	0.0113
Class 8	0.0004	0.0071	0.0299	0.0365	0.1763	0.0341	0.0709	0.6437	0.0011
Class 9	0.0925	0.0005	0.0020	0.0064	0.1491	0.2622	0.1184	0.0123	0.3566

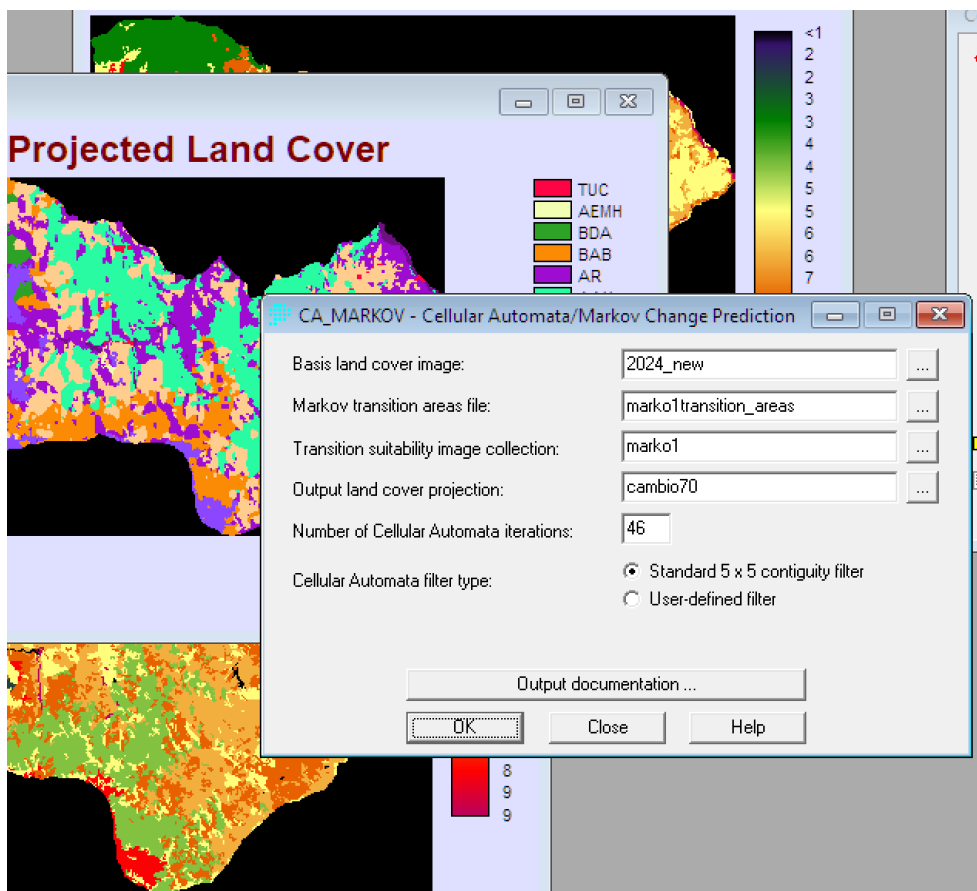
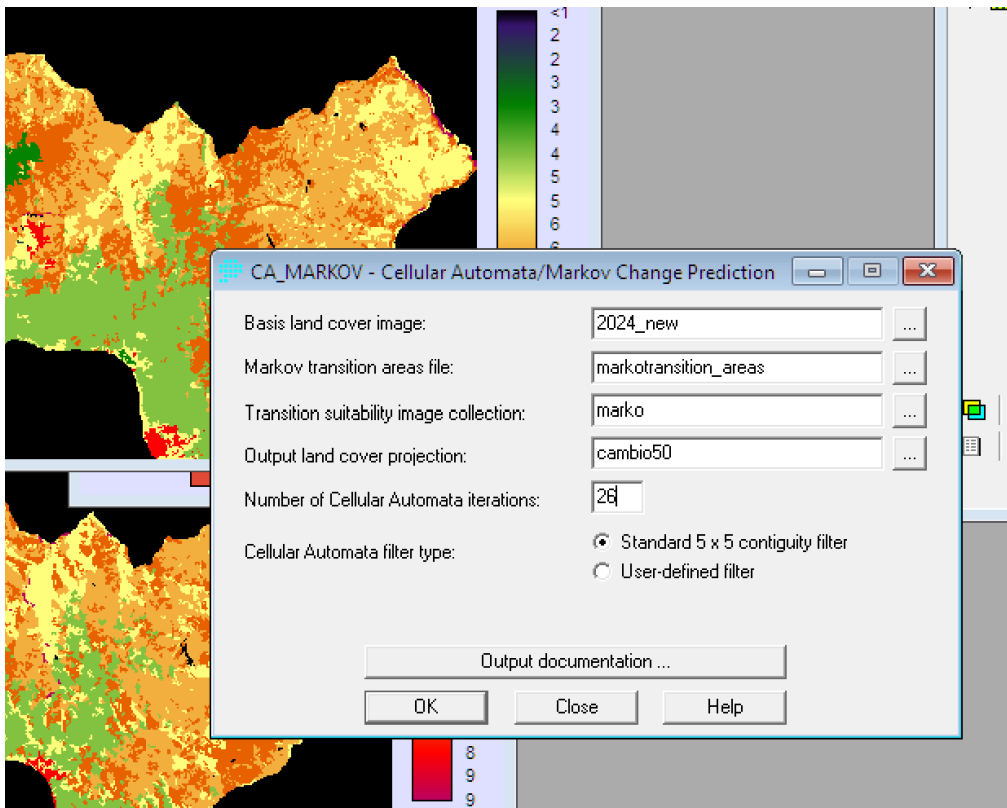


Figura 39

Proyección de cobertura año 2070

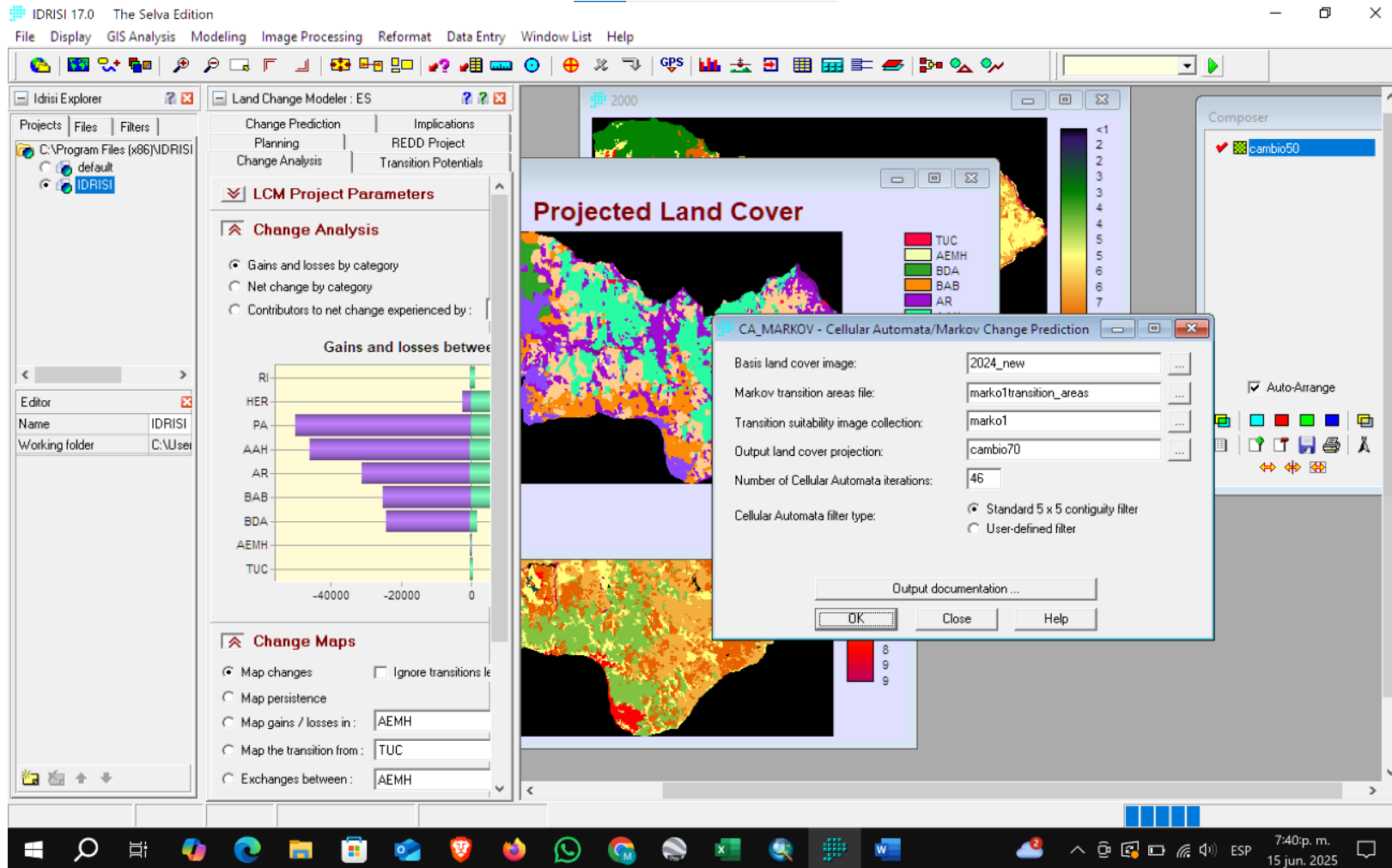


Figura 40

Proceso de modelamiento de proyección

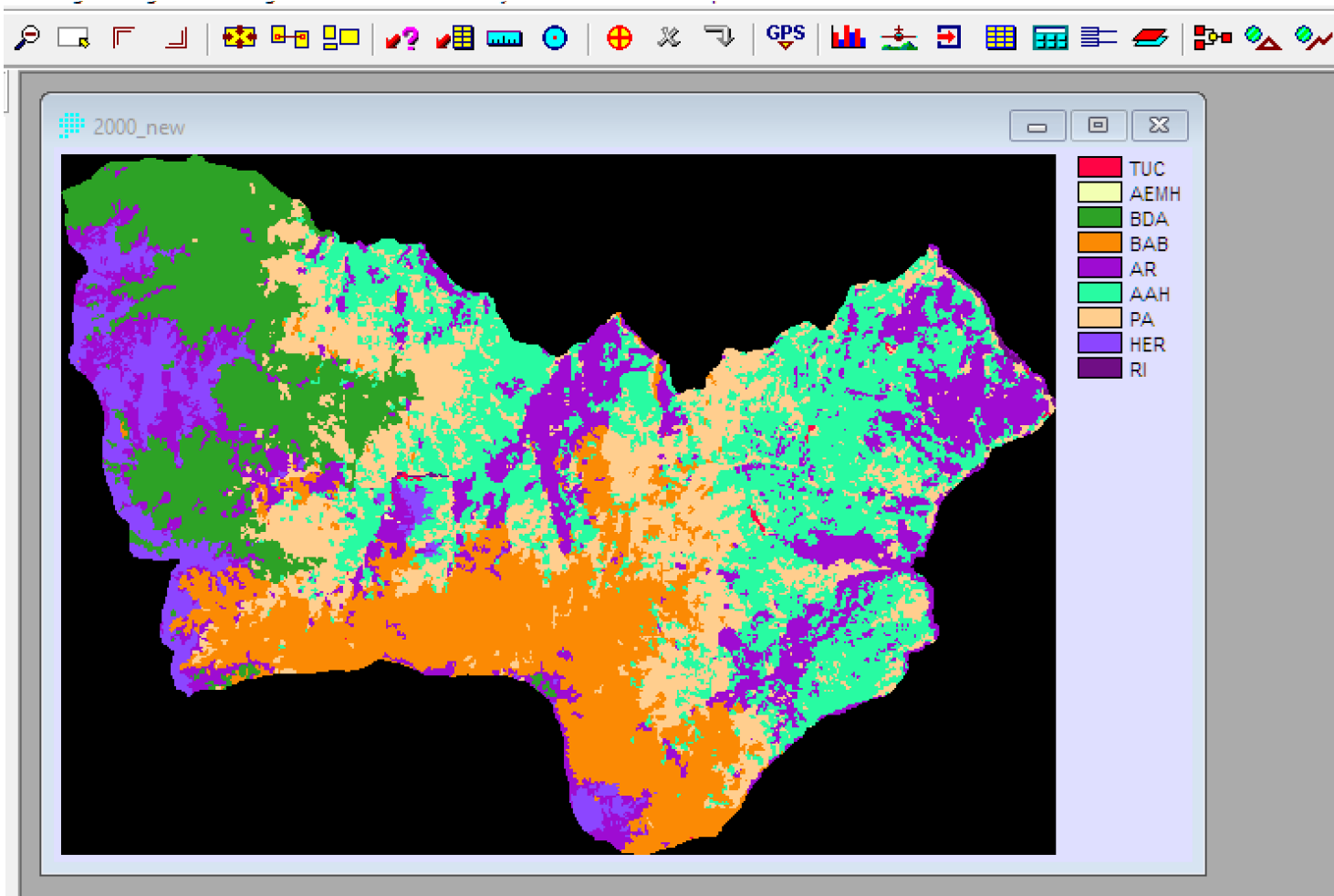


Tabla 19

Especies representativas por tipo de cobertura

Tipo de cobertura	Especies representativas	Fuente / Referencia
Pastos	“Kikuyu” <i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst ex Chiov	Observación en campo
	“Raigrás” <i>Lolium perenne</i> L.	
	“Trébol blanco” <i>Trifolium repens</i> L.	
	“Pasto horqueta” <i>Paspalum notatum</i> Flügge	
	“Gramma” <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	
	“Lengua de vaca” <i>Rumex acetosella</i> L.	
Mosaico de cultivos	“Maíz” <i>Zea mays</i> L.	Observación en campo
	“Papa” <i>Solanum tuberosum</i> L.	
	“Oca” <i>Oxalis tuberosa</i> Molina	
	“Trigo” <i>Triticum aestivum</i> L.	
	“Arveja” <i>Pisum sativum</i> L.	
	“Zapallo” <i>Cucurbita máxima</i> L.	
Bosque denso alto	“Árbol de la quina” <i>Cinchona officinalis</i> L.	Observación en campo. ZEE - Cajamarca Línea Base del Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).
	“Aliso” <i>Alnus acuminata</i> Kunth	
	“Romerillo” <i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	
	“Ocotea” <i>Ocotea arnottiana</i> Aubl.	
	“Lanche” <i>Myrcianthes</i> sp. O.Berg	
	“Babilla” <i>Delostoma integrifolium</i> D.Don	
	“Queñua” <i>Polylepis</i> Ruiz & Pav	
	“Roble” <i>Ocotea arnottiana</i> (Nees) van der Werff	
	“Orquídea” <i>Epidendrum</i> sp.	
	“Pumapara” <i>Persea</i> sp.	
“Lalush” <i>Clusia pseudomangle</i> Planch. y Triana		
“Saucecillo” <i>Podocarpus oleifolius</i> L'Hér. Ex Pers.		

“Chonta” <i>Cyathea arborea</i> L.		
Bosque abierto bajo	“Chamana” <i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Observación en campo. ZEE - Cajamarca Línea Base del Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).
	“Muchuy” <i>Monnina salicifolia</i> Ruiz & Pav	
	“Tara” <i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Britton & Rose	
	“Kolle” <i>Buddleja coriácea</i> J. Rémy	
	“Toche” <i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	
	“Suro” <i>Chusquea polyclados</i> Plig.	
	“Flor de borla” <i>Vernonia arborescens</i> (L.) Sw.	
Herbazal	“Ichu” <i>Stipa</i> sp.	Observación en campo. ZEE - Cajamarca Línea Base del Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).
	“Pasto” <i>Festuca</i> sp.	
	“Paja blanca” <i>Calamagrostis</i> sp.	
	“Cortadera” <i>Werneria nubigena</i> Kunth	
	“Cortadera” <i>Cortaderia bifida</i> Plig.	
	“Sarsamora” <i>Rubus</i> sp.	
	“Cachalgua” <i>Hypericum silenoides</i> Juss.	
Arbustal	“Chilca” <i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Observación en campo. ZEE - Cajamarca Línea Base del Bosque de Protección Pagaibamba (GORE, 2011; Roncal, 2018; SERNANP, 2019).
	“Retama” <i>Spartium junceum</i> L.	
	“Kolle” <i>Buddleja coriácea</i> J. Rémy	
	“Chamana” <i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	
	“Muñuño” <i>Cavendishia bracteada</i> Lindl.	
	“Huanga” <i>Hesperomeles cuneata</i> Lindl.	
	“Gara gara” <i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon	

Figura 41

Verificación de coberturas en campo – cultivo granadilla



Figura 42

Verificación de coberturas en campo – mosaico de cultivos



Figura 43

Verificación de coberturas en campo - bosque de protección Pagaibamba



Figura 44

Identificación de especies por clase de cobertura



Figura 45

Verificación de coberturas en campo – bosque denso alto



Figura 46

Verificación de coberturas en campo – Zona de amortiguamiento BP Pagaibamba



Figura 47

Verificación de coberturas en campo

