

UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO EN LA COBERTURA Y
USO DE TIERRAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ALUD DE
1970; RANRAHIRCA – YUNGAY, PERÍODO 1970-2020**

TESIS

Para optar el título profesional de
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por el bachiller:

MIGUEL ERIDSON LOPEZ CHILCA

Asesor:

Mg. RICARDO RAY VILLANUEVA RAMÍREZ

Huaraz - Perú

2022



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

1. Datos del autor:

Apellidos y Nombres: _____

Código de alumno: _____ Teléfono: _____

E-mail: _____ D.N.I. n°: _____

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Para optar el Título Profesional de:

4. Título del trabajo de investigación:

5. Facultad de: _____

6. Escuela o Carrera: _____

7. Línea de Investigación (*): _____

8. Sub-línea de Investigación (*): _____

() Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

9. Asesor:

Apellidos y nombres _____ D.N.I n°: _____

E-mail: _____ ID ORCID: _____

10. Referencia bibliográfica: _____

11. Tipo de acceso al Documento:

Acceso público* al contenido completo.

Acceso restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:



12. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

Firma del autor

13. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



Varillas William Eduardo
Asistente en Informática y Sistemas
- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los miembros del Jurado Evaluador de Tesis, en pleno que suscriben, reunidos a los trece días de abril del dos mil veintidós, en la sala virtual de la Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM) en la plataforma de Microsoft Teams (MT) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), y en la sala virtual del Facebook Life, de conformidad a la normatividad vigente condujeron el acto académico público de sustentación y defensa virtual de la tesis **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO EN LA COBERTURA Y USO DE TIERRAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ALUD DE 1970; RANRAHIRCA – YUNGAY, PERÍODO 1970-2020”**, que presentó el Bachiller **LOPEZ CHILCA MIGUEL ERIDSON** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

Después de haber atendido la sustentación y defensa oral, y haber escuchado las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de:


QUINCE (15)

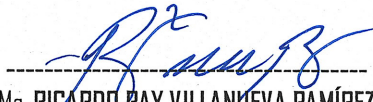
En consecuencia, **LOPEZ CHILCA MIGUEL ERIDSON** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta. disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM y Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 211-2020-UNASAM que incorpora la sustentación virtual), el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM) y el Instructivo para sustentación virtual de tesis (Resolución de Consejo de Facultad N° 051-2020-UNASAM- FCAM del 24/octubre/2020).

Huaraz, 13 de abril de 2022.


Dr. ALFREDO WALTER REYES NOLASCO
Presidente
Jurado de sustentación


Dra. ROSA DE FÁTIMA RODRÍGUEZ ANAYA
Primer miembro
Jurado de sustentación


Ing. FRIDA MONICA CABALLERO BEDRIÑANA
Segundo miembro
Jurado de sustentación


Mg. RICARDO RAY VILLANUEVA RAMÍREZ
Asesor de tesis

DEDICATORIA

A Dios porque ilumina mi camino.

A mis padres Cirilo E. López Huerta y Felipa J. Chilca Solís;
por su apoyo incondicional en este caminar lleno de obstáculos y el compromiso
con la educación de sus hijos hizo posible todo esto,
gracias, gracias, gracias,...de corazón.

A mi abuela Rosa V. Huerta Menacho por su amor y
esperanza depositada hacia mí.

Miguel Eridson López Chilca

AGRADECIMIENTO

A mis padres queridos, comprometidos al 1000 % con la educación.

A mi abuela que confió en mí persona.

Al Ing. Ricardo R. Villanueva Ramírez,

por la asesoría incondicional.

A todas las personas que influyeron directa e indirectamente

en mi aprendizaje continuo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo analizar multitemporalmente el cambio en la cobertura y usos de la tierra en el área de influencia del alud de 1970; entre períodos 1970, 2000, 2013 y 2020 para contribuir a la gestión sostenible del territorio.

Para determinar las coberturas de la tierra se empleó CORINE Land Cover (CLC), haciendo uso imágenes de satélite Landsat 8 y Sentinel 2A, a través de la clasificación supervisada mediante algoritmo Random Forest; así mismo se empleó ortofotos del Google Earth para interpretar imágenes en *software* libre de código abierto R, R Studio y QGIS. Para los años 2013 y 2020 la matriz de confusión o de error a través del coeficiente Kappa de Cohen fue 81 y 83 % de concordancia casi perfecta; para 1970 y 2000 se realizó interpretación de imágenes haciendo uso ortofotos del Google Earth y se consideró área mínima cartografiable de 4x4 mm o 400 m² a escala 1/5000.

Los resultados indicaron que las infraestructuras urbanas, así como los cultivos transitorios y permanentes cambiaron multitemporalmente generando presión ecosistémica, disminución de la cobertura vegetal y pérdida de ecosistemas. En general, la tendencia fue creciente y es indicativo que aumentarán en el futuro. Para evitar degradación continua como se evidenció en el estudio, se deben formular e implementar planes de uso sostenible del territorio y emplear prácticas conservacionistas de la tierra. Mientras los conflictos de uso de la tierra como resultado mostraron superficies concordantes 2066.51 ha o 60.92 %, no concordantes por subuso 655.93 ha o 19.34 % y por sobreuso 204.84 ha o 6.04 % así mismo mostró áreas de uso misceláneo 464.97 ha o 13.71 %; en mayor proporción de acuerdo a su capacidad de uso cambiaron correctamente, pero existe deficiencias en las prácticas conservacionistas y el enfoque correctivo actualmente debe ser dirigido hacia los conflictos por sobreuso sin dejar de lado otros usos de la tierra.

Palabras clave: Random Forest, CORINE Land Cover, capacidad de uso.

ABSTRACT

The objective of this research work was to analyze the change in land cover and land use in the area of influence of the 1970 avalanche over time; between periods 1970, 2000, 2013 and 2020 to contribute to the sustainable management of the territory.

To determine the land covers, CORINE Land Cover (CLC) was used, using Landsat 8 and Sentinel 2A satellite images through the classification supervised by the Random Forest algorithm, as well as orthophotos from Google Earth to interpret images in free software. open source R, R Studio and QGIS. For the years 2013 and 2020, the confusion or error matrix through Cohen's Kappa coefficient was 81 and 83 % almost perfect agreement; for 1970 and 2000, image interpretation was performed using orthophotos from Google Earth and the minimum mappable area was considered to be 4x4 mm or 400 m² at a scale of 1/5000.

The results indicated that urban infrastructures, as well as transitory and permanent crops, changed over time, generating ecosystem pressure, decrease in vegetation cover and loss of ecosystems; In general, the trend was growing and it is indicative that they will increase in the future. To avoid continuous degradation, as evidenced in the study, plans for the sustainable use of the territory must be formulated and implemented and conservationist practices of the land must be used. While the land use conflicts as a result showed concordant surfaces 2066.51 ha or 60.92 %, non-concordant due to underuse 655.93 ha or 19.34 % and due to overuse 204.84 ha or 6.04 %, it also showed areas of miscellaneous use of 464.97 ha or 13.71 %; in greater proportion according to their capacity for use, they changed correctly, but there are deficiencies in conservation practices and the corrective approach should currently be directed towards conflicts due to overuse, without neglecting other uses.

Key words: Random Forest, CORINE Land Cover, land use capacity.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	viii
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	xvii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Diseño del problema.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Base teórica.....	6
2.2.1. Tierra	6
2.2.1.1. Uso y cambio de uso de la tierra	7
2.2.1.2. Cobertura de la tierra.....	11
2.2.1.3. Tierras por capacidad de uso	13
2.2.1.4. Conflictos de uso de la tierra	17

2.2.1.5. Degradación de la tierra	18
2.2.2. Análisis multitemporal	20
2.2.3. Imagen satelital.....	20
2.2.4. Preprocesamiento de la imagen satelital	24
2.2.5. Clasificación digital	28
2.2.5.1. Clasificación supervisada	28
2.2.6. Interpretación de imágenes	32
2.2.6.1. Criterios visuales para la interpretación.....	32
2.2.7. Metodología CORINE Land Cover (CLC)	34
2.2.8. Índices en teledetección	35
2.3. Definición de términos	38
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	41
3.1. Tipo de investigación.....	41
3.2. Diseño de la investigación	41
3.3. Procedimientos.....	41
3.3.1. Consideraciones previas	42
3.3.2. Proceso de análisis de ortofotos del Google Earth año 1970 y 2000	42
3.3.3. Clasificación radiométrica.....	43
3.3.4. Análisis del cambio de uso de la tierra 1970 – 2020.	49
3.3.5. Conflictos de uso de la tierra	49
3.3.6. Caracterización de la cobertura vegetal.	50
3.4. Población.....	51
3.5. Muestra	51
3.5.1. Muestra para la clasificación supervisada	51
3.5.2. Muestras para la caracterización de la cobertura vegetal.....	51
3.5.3. Muestras para la caracterización de los cultivos transitorios, permanentes y bosques plantados.	52
3.6. Técnica de análisis de datos	53

3.7. Instrumentos de recolección de la información.....	54
3.7.1. Clasificación supervisada	54
3.7.2. Caracterización de la cobertura vegetal	54
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS.....	55
4.1. Ámbito de estudio.....	55
4.2. Aspecto social	55
4.2.1. Demografía.....	55
4.2.2. Densidad poblacional	57
4.3. Aspecto económico	57
4.3.1. Población económicamente activa (PEA).....	57
4.4. Caracterización del área de estudio	58
4.4.1. Caracterización climática.....	58
4.4.2. Zonas de vida	62
4.4.3. Geología.....	63
4.4.4. Litología.....	66
4.4.5. Capacidad de uso de tierras.....	66
4.5. Alud de 1970	68
4.6. Coberturas y usos de la tierra 1970 – 2020.....	69
4.7. Categorías de cobertura y usos de la tierra - CORINE Land Cover	79
4.7.1. Usos de la tierra año 1970.....	79
4.7.2. Usos de la tierra año 2000.....	81
4.7.3. Usos de la tierra año 2013.....	83
4.7.4. Usos de la tierra año 2020.....	85
4.8. Análisis de Cambio y usos de la tierra 1970 – 2020.....	87
4.9. Cambio de usos de la tierra 1970 - 2020.....	93
4.10. Validación de mapas de coberturas y usos de la tierra	100
4.11. Conflictos de uso de la tierra	100

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN..... 102

5.1. Coberturas y usos de la tierra.....103

5.2. Conflictos de uso de la tierra108

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 111

6.1. Conclusiones111

6.2. Recomendaciones.....113

REFERENCIAS..... 114

ANEXOS..... 122

Anexo A. Mapas del área de influencia del alud de 1970, Ranrahirca – Yungay, 1970-2020. 122

Anexo B. Caracterización de la cobertura vegetal..... 133

Anexo C. Matriz de cambio de uso de la tierra (1970 – 2020)..... 142

Anexo D. Especies de flora identificadas en el área de estudio. 143

Anexo E. Panel fotográfico de la ejecución de tesis. 144

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características de las imágenes satelitales y ortofotos del Google Earth empleadas en la investigación.	21
Tabla 2 Misión de satélites Sentinel (2014 – 2016).	22
Tabla 3 Característica de los sensores S2A.	23
Tabla 4 Valoración del coeficiente de Kappa de Cohen.	31
Tabla 5 Composición de bandas L8.	46
Tabla 6 Composición de bandas S2A.	47
Tabla 7 Muestreo estratificado por proporciones	52
Tabla 8 Censo nacional de población y vivienda 2017.	56
Tabla 9 Densidad poblacional por distritos de la provincia de Yungay	57
Tabla 10 Población censada en edad de trabajar por sexo 2007.	57
Tabla 11 Población censada en edad de trabajar por sexo 2017	58
Tabla 12 Unidades geológicas del área de estudio	64
Tabla 13 Capacidad de uso de tierras - USDA	67
Tabla 14 Categorías de coberturas del área de influencia del alud de 1970 - 2020.	70
Tabla 15 Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 1970.	80
Tabla 16 Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2000.	82
Tabla 17 Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2013.	84
Tabla 18 Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2020.	86
Tabla 19 Matriz de cambios de usos de la tierra del año 1970 – 2000	88
Tabla 20 Matriz de cambios de usos de la tierra del año 2000 – 2013.	90
Tabla 21 Matriz de cambios de usos de la tierra del año 2013 – 2020.	92
Tabla 22 Conflictos de uso de la tierra.	101

Tabla 23 Especies de cultivos transitorios del área de influencia del alud de 1970.	133
Tabla 24 Principales especies de cultivos permanentes del área de influencia del alud de 1970.....	134
Tabla 25 Principales especies de bosque denso bajo del área de influencia del alud de 1970.	135
Tabla 26 Principales especies de vegetación arbustiva y herbácea abierta del área de influencia del alud de 1970.....	136
Tabla 27 Cambio y usos de la tierra (1970 – 2020).	142



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Intensidad de uso de la tierra	16
Figura 2 Proceso de incidencia de la radiación solar, superficie y sensor, errores radiométricos y topográficos.....	24
Figura 3 Diagrama de decisión de Random Forest.	29
Figura 4 Criterios de interpretación visual de una imagen.....	32
Figura 5 Valores de NDVI de la cobertura vegetal.	36
Figura 6 Procedimiento de análisis de ortofotos del Google Earth año 1970 y 2000	43
Figura 7 Procedimiento de análisis de L8 del año 2013	45
Figura 8 Procedimiento de análisis de imágenes satelitales S2A del año 2020..	48
Figura 9 Procedimiento para elaborar, matriz de transición 1970 - 2020	49
Figura 10 Muestreo aleatorio estratificado por proporciones y transecto dividido por parcelas.....	50
Figura 11 Censo nacional de población y vivienda 2017.....	56
Figura 12 Histograma de precipitación total anual - estación Yungay (000444)..	59
Figura 13 Temperatura media máxima anual - estación Yungay (000444)	60
Figura 14 Temperatura media mínima anual - estación Yungay (000444).....	61
Figura 15 Antes y después del alud de 1970 de la ciudad de Yungay.	68
Figura 16 Depósito de flujo de detritos del alud de 1970.....	69
Figura 17 Áreas urbanizadas: tejido urbano continuo / discontinuo.	71
Figura 18 Área histórico urbano.	72
Figura 19 Especies de cultivo transitorio.	73
Figura 20 Cultivo permanente de duraznero.	73
Figura 21 Especies de bosque denso bajo.....	74
Figura 22 Coberturas de la tierra, bosques plantados.....	75

Figura 23 Afloramientos rocosos.....	76
Figura 24 Tierras desnudas.....	76
Figura 25 Masa glaciár del nevado Huascarán.	77
Figura 26 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua.....	78
Figura 27 Cuerpos de agua.....	78
Figura 28 Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 1970.	81
Figura 29 Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2000.	83
Figura 30 Categorías de cobertura y uso de la tierra año 2013.....	85
Figura 31 Categorías de cobertura y uso de la tierra año 2020.....	87
Figura 32 Cambio de usos de la tierra: tejido urbano continuo y discontinuo (AUrbCD) 1970 - 2020.	93
Figura 33 Cambios de usos de la tierra, área histórico urbano (AHU) 1970-2020.	94
Figura 34 Cambio de uso de la tierra, cultivos transitorios (CT) 1970-2020.....	94
Figura 35 Cambio de usos de la tierra, cultivos permanentes (CP) 1970-2020...	95
Figura 36 Cambio de uso de la tierra, bosque denso bajo (BDB) 1970-2020.	95
Figura 37 Cambios de usos de la tierra, bosques plantados (BP) 1970-2020.....	96
Figura 38 Cambios de usos de la tierra, vegetación arbustiva/ herbácea abierta (VAHA) 1970-2020.....	96
Figura 39 Cambios de usos de la tierra, afloramientos rocosos (AR) 1970-2020.	97
Figura 40 Cambios de usos de la tierra, tierras desnudas (TD) 1970-2020.	97
Figura 41 Cambio de uso de la tierra, glaciares o hielo (G) 1970-2020.	98
Figura 42 Cambio de uso de la tierra, vegetación acuática sobre cuerpos de agua (VAC) 1970-2020.	99
Figura 43 Cambio de uso de la tierra, cuerpos de agua (CA) 1970-2020.	99
Figura 44 Mapa de ubicación del área de influencia del alud de 1970.	123

Figura 45 Mapa de cobertura y uso actual de la tierra, 1970.....	124
Figura 46 Mapa de cobertura y uso actual de la tierra, 2000.....	125
Figura 47 Mapa de cobertura y uso actual de la tierra, 2013.....	126
Figura 48 Mapa de cobertura y uso actual de la tierra, 2020.....	127
Figura 49 Puntos de muestreo para la caracterización de la cobertura vegetal, 2020.	128
Figura 50 Mapa de zonas de vida	129
Figura 51 Mapa litológico	130
Figura 52 Mapa de capacidad de uso de tierras.....	131
Figura 53 Mapa de conflictos de uso de la tierra.....	132
Figura 54 Purush - <i>Passiflora trifoliata</i> Cav.	143
Figura 55 Mora - <i>Rubus robustus</i> P.J.Müll	143
Figura 56 Asiento de suegra - <i>Matucana yanganucensis</i>	143
Figura 57 Oca silvestre - <i>Oxalis megalorrhiza</i> Jacq. E.....	143
Figura 58 Cóndor cebolla - <i>Wernería nubigena</i> Kunth	143
Figura 59 Jacapa pishqun - <i>Lycopodium crassum</i> H. & B. ex W.....	143
Figura 60 Área degradada	144
Figura 61 Toma de puntos de control, cultivos permanentes	144
Figura 62 Cobertura de bosque denso bajo	144
Figura 63 Cultivo permanente de arándano	144
Figura 64 Transecto – vegetación arbustiva / herbácea abierta	144
Figura 65 Transecto - bosque denso bajo	144
Figura 66 Incendio de la cobertura vegetal.....	145
Figura 67 Cambio de la cobertura y usos de la tierra	145

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AHU	Área histórico urbano
AR	Afloramientos rocosos
AUrbCD	Tejido urbano continuo / discontinuo
BDB	Bosque denso bajo
BP	Bosques plantados
CA	Ríos o cuerpos de agua
CORINE	Coordination of information on the environment
CP	Cultivo permanente
CLC	CORINE Land Cover
CT	Cultivo transitorio
DEM	Modelo digital de elevación
G	Glaciares o hielo
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
L8	Landsar 8
MINAM	Ministerio del Ambiente
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	Agencia Nacional de Inteligencia - Geoespacial
S-2A	Sentinel-2A
SCP	Semi - Automatic Classification Plugin
SIG	Sistemas de información geográfica
SRTM	Misión Shuttle Radar Topography Mission
TD	Tierras desnudas
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
VAC	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
VAHA	Vegetación arbustiva/ herbácea abierta

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El área de influencia del alud de 1970, localizada en la provincia de Yungay departamento de Áncash, producto de la actividad antropogénica y crecimiento urbano, han generado cambios en el uso y coberturas de la tierra; estos como resultado generan pérdidas de la cobertura vegetal y degradación continua de la tierra, por ello ha dado lugar a una investigación multitemporal para conocer si los cambios fueron para bien o para mal. Este diagnóstico fue fundamental para entender dónde, cómo y cuánto se perdió o cambió las coberturas y usos de la tierra, a fin de tener conocimiento de la situación actual y pasada, así como las tendencias de los cambios de la cobertura vegetal de períodos 1970, 2000, 2013 y 2020.

El cambio de uso de la tierra y la pérdida de la cobertura vegetal es uno de los principales problemas generados en el territorio y está relacionado directamente con la seguridad de producción de alimentos, salud humana, gestión de riesgos, urbanización, biodiversidad, calidad del agua y suelo (Turner, 1989). Constituye uno de los factores primordiales del cambio climático global, porque altera ciclos biogeoquímicos del carbono y del agua; también es una de las causas más importantes de pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Lambin *et al.*, 1999).

De igual forma se considera, la intensificación de las actividades agrícolas, supera la capacidad de resiliencia o auto recuperación de los ecosistemas, generando degradación continua del suelo, reducción de recursos y deterioro de la calidad del agua (Vera y Romero, 1994).

Por ello la detección de los cambios y usos de la tierra son importantes para preservar y/o conservar la cobertura vegetal porque es esencial evitar degradación del suelo, a su vez, hace que la tierra no pierda su eficiencia y estabilidad productiva; esto conduce a preservar la biodiversidad, a mantener en equilibrio los ecosistemas y eventualmente a regular las funciones ecosistémicas como el suministro de agua (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2022). Necesarios para la gestión ordenada del territorio y sustentable de los recursos naturales, conservación de la biodiversidad, monitoreo forestal y pastoril, gestión de riesgos, monitoreo de las coberturas de la tierra y ordenamiento territorial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

Entre las herramientas empleadas para el análisis de los cambios y usos de la tierra son los sistemas de información geográfica (SIG) que incluyen los sensores remotos, imágenes satelitales Landsat 8, Sentinel 2A y ortofotos del Google Earth así mismo, los *software* libres o de código abierto como R y QGIS; los cuales permiten cuantificar y mapear diferentes coberturas y usos de la tierra para comprender cambios del pasado y su evolución hasta la actualidad.

El objetivo de esta investigación fue analizar multitemporalmente el cambio en la cobertura y usos de la tierra en el área de influencia del alud de 1970, para contribuir a la gestión sostenible del territorio, mediante técnicas de clasificación supervisada e interpretación de imágenes.

1.1. Diseño del problema

¿Cuál es la variación multitemporal de la cobertura y uso de la tierra en el área de influencia del alud de 1970; Ranrahirca – Yungay, período 1970-2020?.

1.2. Hipótesis

La cobertura y el cambio de uso de la tierra en el área de influencia del alud de 1970, ha sufrido una severa variación multitemporal incrementándose las áreas de uso antrópico.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar multitemporalmente cambio en la cobertura y usos de la tierra en el área de influencia del alud de 1970; Ranrahirca – Yungay, período 1970 – 2020, para contribuir a la gestión sostenible del territorio.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Cuantificar la variación de la cobertura y el uso actual de la tierra en el área de influencia del alud de 1970 a través de imágenes, período 1970 - 2020.
- ✓ Analizar la evolución y tendencias de cambio de uso de la tierra en el área de influencia del alud de 1970.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Valdez y otros (2011) encabezaron un estudio en el período de 1985 a 2007 en la cuenca del río Metztlán (México). El análisis multitemporal ayudó a generar información necesaria para el monitoreo de los recursos naturales de la cuenca. La tasa de deforestación se consideró baja (-0.5 % anual) por la apertura de terrenos agrícolas de temporal en áreas forestales, los cuales una vez improductivas la cobertura de la tierra pasa a formar parte de las áreas urbanas y este creció un 250.8 % en 22 años a un ritmo de 4.3 % anual.

FAO (2019) en su publicación concluye que América Latina y el Caribe cuentan con reservas de tierras cultivables más grandes del planeta. El 47 % se encuentra cubierto de bosque, pero considerablemente se está reduciendo por la expansión rápida de los terrenos agrícolas no sustentables a largo plazo, asimismo se señala que en los últimos 50 años (1961-2011) las superficies agrícolas aumentaron notablemente de 561 a 741 millones de hectáreas y en América del Sur de 441 a 607 millones de hectáreas considerándose una expansión alta.

En la investigación de Pineda (2011), los cambios más significativos fueron incremento de las superficies urbanas en comparación a los terrenos agrícolas (4.36 % pasó de agrícola a urbano), este cambio fue significativo en la funcionalidad del paisaje al reducirse áreas de uso agrícola. El autor infiere que la sociedad está sufriendo un proceso de cambio o transformación, modificando sus usos y costumbres, mediante las imágenes satelitales en la investigación pudieron cuantificar cambios de uso de la tierra a una escala adecuada que permitió analizar tendencias de cambio de uso de la tierra en el Municipio de Valle de Santiago de la ciudad de México.

Al emplear imágenes satelitales Landsat 2001-2016 del distrito de Llacanora de la región Cajamarca, el autor identificó categorías de tejido urbano continuo, cultivos transitorios, pastos, plantaciones de bosques, herbazal, arbustal, afloramientos rocosos y lagunas. Indica que el cambió al largo del período de evaluación fue de extensión 1717.12 ha equivalente al 33.52 % del área distrital; mientras que 3405.26 ha permanece sin cambio con un 66.48 %. El de mayor cambio fue herbazal (HE) con pérdida de 1117.49 ha equivalente al 21.82 %, la cobertura con menos cambio fue lagunas (LA) con una pérdida de 3.60 ha equivalente al 0.07 % (Murillo, 2017).

Ibáñez y Damman (2014), determinaron que la parte baja y media de la subcuenca del río Vilcabamba de la región Apurímac, mostró cambios en los usos y coberturas de la tierra, estos dedujeron que la causa principal fue la actividad agropecuaria y en la parte alta de la subcuenca se redujo la cobertura glaciar. Finalmente, los autores determinaron 4 factores o impulsores de cambio: degradación de la cobertura vegetal, reducción de las fuentes de agua, actividad minera y eventos climáticos extremos.

En su estudio, Tantaleán (2016) empleó la metodología CLC adaptada para Perú, propuesta por el Ministerio del Ambiente (MINAM), donde empleó imágenes satelitales Landsat. El autor identificó las siguientes categorías de cobertura vegetal y usos de la tierra, tejido urbano continuo, bosques plantados, pastos, vegetación arbustiva / herbácea, áreas agrícolas heterogéneas, bosque abierto bajo, herbazal, arbustal, tierras desnudas y clasificó hasta la categoría III. Los resultados fueron cambio de pastos de 948.59 ha a 3326.69 ha, aumentando 2378.1 ha, categoría de áreas agrícolas heterogéneas de 16967.69 ha a 19825.44 ha con incremento de 2857.75 ha y la categoría herbazal de 4576.27 ha a 1288.21 ha, perdiendo 3288.06 ha de cobertura, categoría arbustal de 2237.26 ha a 1337.28 ha, perdiendo 899.98 ha.

2.2. Base teórica

2.2.1. Tierra

Tierra comprende componentes bióticos (plantas y animales), físicos (suelo y relieve), ambientales (clima), infraestructuras antropogénicas y socio-económicas que son resultados físicos de la actividad humana pasada y presente, incluyen los cuerpos de agua (ciénagas, ríos y pantanos) cercanas a la superficie para su manejo; el suelo es considerado como el componente central de los recursos de la tierra (FAO, 2020).

Uso de la tierra es la gestión o modificación del entorno a través de las diferentes actividades y procesos naturales de la superficie, con diferentes fines de producción para modificarla o mantenerla (Di Gregorio & Jansen, 2000). Mientras el cambio de uso de la tierra es la presión ejercida en el entorno generándose cambio de un tiempo a otro, así como cambio de cobertura forestal a cultivo permanente o transitorio a través del tiempo.

2.2.1.1. Uso y cambio de uso de la tierra

Uso de la tierra es la gestión o modificación del entorno a través de las diferentes actividades y procesos naturales de la superficie, con diferentes fines de producción para modificarla o mantenerla (Di Gregorio & Jansen, 2000). Mientras el cambio de uso de la tierra, es la presión ejercida en el entorno generándose cambio de un tiempo a otro, así como cambio de cobertura forestal a cultivo permanente o transitorio a través del tiempo.

El uso de la tierra varía de actividad en actividad y son desarrolladas con fines productivos, pecuarios, entre otros. La definición del uso de la tierra establece vínculo directo entre las acciones del hombre y las coberturas de la tierra (Di Gregorio & Jansen, 2000) Es fruto de la interacción de los factores socioeconómicos, culturales y factores biofísicos (entorno biótico y abiótico). Se caracteriza por arreglos, actividades e insumos que el hombre interviene en cierta cobertura de la tierra con el fin de cambiar, producir, mejorar o mantener; estos generan efectos asociados a procesos culturales, socioeconómicos, ecológicos, otros (Di Gregorio & Jansen, 2000).

Entre los factores causales del cambio de uso de la tierra están la agricultura, ganadería y ampliación de infraestructuras; como resultado impacta negativamente en la pérdida de la biodiversidad y de los servicios ambientales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2011).

Entre los factores que inciden en el cambio de uso de la tierra son:

a. Económico - productivos

Es producto de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales. Asimismo, se evidencia a través de la implementación de vías de comunicación terrestre, en la expansión y crecimiento de las áreas urbanas (MINAM, 2016).

Uno de los factores que influye más en los cambios de uso de la tierra son los productores agropecuarios (Lambin *et al.*, 2003). El productor como dueño de la superficie, al contar con coberturas naturales aprovecha la parte forestal para subsistir y obtener ingresos económicos, sin considerar los servicios ecosistémicos que brindan dichas áreas y posteriormente estas pasan a formar parte de las áreas agrícolas y, en el peor de los casos, son abandonados (MINAM, 2018).

b. Factores sociales

Se refiere a la disminución y crecimiento de la población originado por la migración, al generar impactos a través de la intervención y ocupación de la cobertura y el uso de la tierra. Estos cambios influyen en la estructura de la población, en tipo y tamaño del capital humano y la disponibilidad de mano de obra, en los asentamientos poblacionales y la expansión urbana, entre otros (MINAM, 2016).

- Demografía

Este factor tiene incidencia negativa hacia los cambios de la cobertura, por el crecimiento poblacional; mientras más personal exista en un territorio habrá mayor consumo de los recursos naturales para satisfacer las necesidades y en consecuencia mayor deterioro ambiental (MINAM, 2018).

- **Migración**

La migración genera impactos sobre el uso de la tierra que influye en los cambios de la cobertura y usos de la tierra y está relacionada directamente con las políticas gubernamentales, integración económica, cambio en los patrones de consumo y la globalización (Lambin *et al.*, 2003).

c. Factor cultural e histórico

Las memorias colectivas, valores, creencias, historias personales, actitudes y percepciones individuales y colectivas se caracterizan por su arraigo ancestral; influyen en las decisiones de uso de la tierra mayormente para su conservación y se manifiestan a través de las prácticas culturales/religiosas (MINAM, 2016), estas a su vez suelen estar vinculadas a las condiciones políticas y económicas (Lambin *et al.*, 2003).

d. Factores institucionales y/o políticos

Son establecidas por las políticas económicas del país de alcance nacional, regional y local. Está vinculado al establecimiento del marco jurídico que restringen o permiten la ocupación, intervención y transformación de la cobertura y usos de la tierra (MINAM, 2016). Así mismo, son aquellos cambios influenciados por instituciones jurídicas, políticas y económicas. Una de las principales causas es la mala aplicación e incongruencias de las diferentes políticas gubernamentales (Lambin *et al.*, 2003) Ante este problema, las instituciones competentes deben tomar acciones correctivas para el buen manejo de los recursos del territorio, haciendo partícipe a los diferentes actores sociales.

Las organizaciones administrativas de los diferentes niveles del estado a nivel nacional, regional y local, tienen déficit en los temas de gestión sostenible del territorio, porque no hay articulación eficiente entre las instituciones y por lo tanto, tampoco existe participación activa de los ciudadanos claves, para el desarrollo sostenible del territorio. Una de las formas de aprovechar e identificar las potencialidades y limitaciones del territorio es implementando el plan de ordenamiento territorial, que permitirá planificar y definir criterios e indicadores para la ocupación y uso sostenible del territorio (MINAM, 2018).

e. Factores productivos

Entre los factores productivos son considerados el trabajo, los recursos naturales, el capital y la tecnología, estos factores productivos inciden en el cambio de la cobertura y usos de la tierra de manera intensa. Para el trabajo se emplea mano de obra, para producir bienes y servicios a expensas de la degradación del entorno, mientras que los recursos naturales son transformados por la actividad antropogénica, en consecuencia, el capital humano disponible es enfocado al desarrollo de las actividades agrícolas, industriales entre otros, en desmedro de los recursos naturales y el empleo de tecnología intensiva permite el rápido deterioro del territorio (MINAM, 2018).

f. Fenómenos de origen natural

Factor determinante para los cambios de la cobertura y usos de la tierra originados por fenómenos de origen natural como movimiento en masa, inundaciones, sismos, entre otros. Como consecuencia, generan degradación del suelo, pérdida de las coberturas de la tierra, destrucción de la flora y fauna, entre otros.

2.2.1.2. Cobertura de la tierra

La cobertura de la tierra se refiere a los atributos biofísicos de la superficie de la tierra, como aquellos elementos observados de la superficie terrestre, como las características artificiales o vegetación (Watson *et al.*, 1998). De igual forma, se consideran las coberturas de la tierra de origen natural como (bosques, glaciares, ríos, lagos, etc.) o artificiales que son producto de la actividad antropogénica como (carreteras, ciudades...) y están determinadas por factores como la topografía, el clima, el tipo de suelo, la disponibilidad de agua, la hidrología, los glaciares y los tipos de vegetación (López, 2006).

Las coberturas de la tierra describen el material físico de la superficie y las clases o tipos de la cobertura de la tierra; se identifican a través de sensores remotos, los cuales registran la respuesta espectral, firma espectral o signatura espectral de los diferentes tipos de superficie. Algunos ejemplos de clases de coberturas de la tierra son: bosques, cuerpos de agua y tierras desnudas (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2015).

El conocimiento de los cambios y coberturas de la tierra son importantes para la gestión de los recursos naturales, conservación de la biodiversidad, ordenamiento territorial o gestión territorial, entre otros (FAO, 2015). A través de los sensores remotos son capturados diferentes escenas independientes de su origen, incluyen la cobertura natural o cultivada, afloramientos rocosos, cuerpos de agua y construcciones hechas por el hombre (Lara y otros, 2002).

a. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal se entiende como la cubierta vegetal de un espacio determinado y varía de acuerdo a las características fisiográficas (Reyes, 2014).

Por otra parte, la cobertura vegetal es definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprende una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas de bosques naturales. Se incluyen coberturas vegetales e inducidas por la acción humana como áreas de cultivos (Instituciones Iberoamericanas [GEOINSTITUTOS], 2020).

➤ **Beneficios de la cobertura vegetal**

La cobertura vegetal es la capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo a través de los componentes de la superficie como las hojas y los tallos, al absorber parte de la energía de las gotas de lluvia así mismo protege el suelo de las aguas que discurren por la superficie y el viento; por otro lado, el sistema radicular contribuye a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 2005). La principal función de la cobertura vegetal es mantener en equilibrio el ecosistema; al afectarse, las consecuencias son imprevisibles e irreversibles, por ejemplo, el efecto esponja es alterado por la tala y en consecuencia habrá mayor erosión y pérdida de los nutrientes del suelo (Gonzáles, 2018).

La cobertura vegetal brinda beneficios que previenen la degradación y desertificación de los suelos al estabilizarlos así mismo mantienen ciclo del agua, nutrientes y reducen la erosión hídrica y eólica. Cumple un rol importante en la mitigación y adaptación al cambio climático al proveer bienes y servicios ambientales de importancia local, regional, nacional e internacional (FAO, 2015).

➤ **Consecuencias del cambio de uso de la cobertura vegetal**

El cambio de la cobertura vegetal altera procesos hidrológicos e infiltración del agua en el suelo y depende del tipo de uso de la tierra (Sampaio de Almeida *et al.*, 2018).

2.2.1.3. Tierras por capacidad de uso

La clasificación de tierras por capacidad de uso fue desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) basado en las limitaciones permanentes del terreno tales como riesgo por erosión, condición del suelo, humedad o drenaje y condición climática. El objetivo de la clasificación es categorizar la tierra en una unidad, con similar tipo y grado de limitación.

Los suelos de las cuatro primeras clases son considerados como suelos arables y son capaces para los cultivos, especies forestales y forrajeras o pasturas naturales. Los suelos de la clase V a la VII, son apropiados para pastos y bosques. Los suelos de la clase VIII no tienen aplicación agrícola, pastoril o forestal y están dedicados a usos recreativos o reservas de la flora y fauna.

A continuación, se presentan clases de capacidad de uso, según Klingebiel & Montgomery (1961) y Dorransoro (2022):

➤ **Clasificación de tierras por capacidad de uso**

a. Clase I

Las tierras de esta clase son muy buenas en todo aspecto y se pueden emplear para cultivos, pastos, pastizales, bosques y vida silvestre. Están casi nivelados o llanos y el riesgo de erosión (viento o agua) es bajo, son profundos, con buen drenaje, fácil de trabajar, retienen muy bien el agua, de fertilidad alta con nutrientes vegetales y son sensibles a los fertilizantes.

b. Clase II

El terreno es bueno y adecuado desde todo punto de vista, pero en comparación con la Clase I, ciertas condiciones físicas hacen que no sea tan bueno. La pendiente del suelo es suave; la profundidad es moderada; sujeto a flujo superficial ocasional; puede requerir instalación de drenaje; puede haber riesgo moderado de daño cuando se cultiva, pero se puede controlar adoptando prácticas de labranza.

Requieren de un manejo cuidadoso, incluida la conservación - prácticas, para prevenir el deterioro. Las limitaciones son pocas y las prácticas son fáciles de aplicar los suelos pueden ser utilizados para cultivos, pastos, pastizales, bosque, vida silvestre.

Los suelos pueden necesitar prácticas comunes, como cultivo a nivel, fajas, rotaciones encaminadas a la conservación de los mismos, mecanismos de control del agua o métodos de labranza. Con frecuencia requieren una combinación de estas prácticas.

c. Clase III

La tierra es moderadamente buena para el cultivo. El suelo es de fertilidad moderada y de pendiente moderada; sujeto a un riesgo mayor de daño, pero puede usarse para cultivos, pastos, cobertura de bosques, pastizales o vida silvestre.

Requieren sistemas que proporcionen una adecuada protección vegetal, necesaria para evitar la erosión y para preservar su estructura (fajas, terrazas, otros). Necesitan una combinación de distintas prácticas para que el cultivo sea seguro.

d. Clase IV

Esta clase está compuesta por suelos con limitaciones permanentes y severas para el cultivo. Suelos malos. Pueden cultivarse ocasionalmente bajo un cuidado adecuado o con gran cuidado. Generalmente deben limitarse a cultivos herbáceos.

Los suelos de esta clase presentan características desfavorables. Con frecuencia se hallan en pendientes fuertes sometidos a erosión intensa. Su adecuación para el cultivo es muy limitada.

e. Clase V

Los suelos de esta clase deben mantener una vegetación permanente. Pueden dedicarse a pastos o a bosques. La tierra es casi horizontal. Tienen escasa o ninguna erosión. Sin embargo, no permiten el cultivo, por su carácter pedregoso, encharcado o por otras causas. El pastoreo debe ser regulado para evitar la destrucción de la cubierta vegetal.

f. Clase VI

Los suelos de esta clase deben emplearse para el pastoreo o la silvicultura y su uso genera riesgos moderados. Se hallan sujetos a limitaciones permanentes, pero moderadas, y no son adecuados para el cultivo. Es de pendiente fuerte. No se debe permitir que el pastoreo destruya la cubierta vegetal.

g. Clase VII

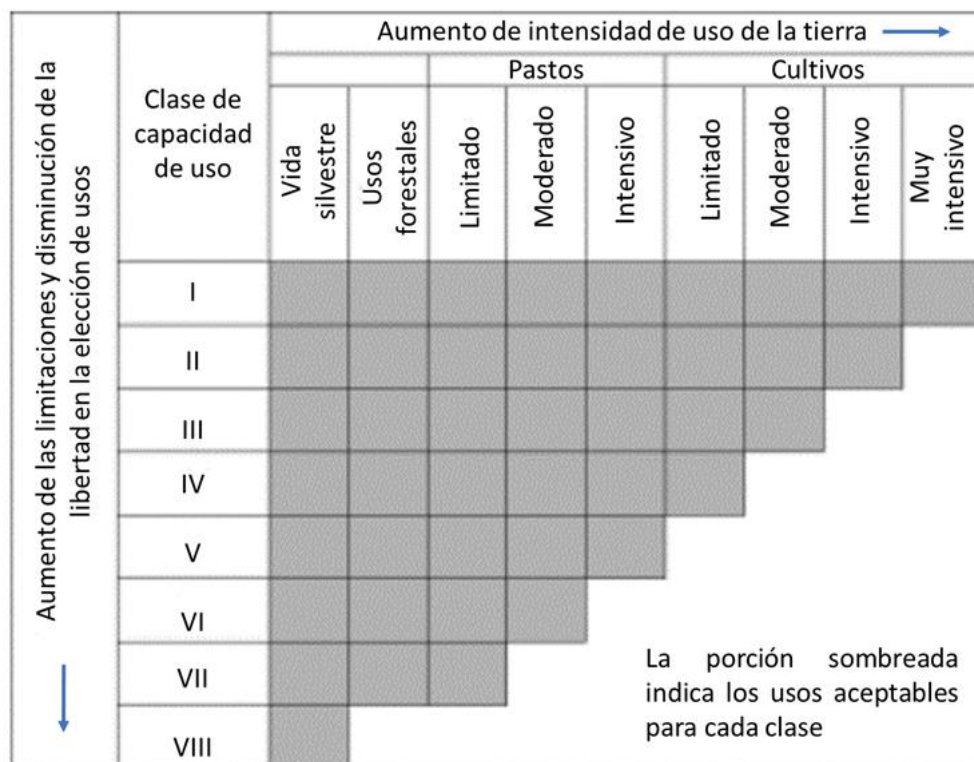
Los suelos de esta clase poseen limitaciones permanentes y severas cuando se emplean para pastos o silvicultura. Suelos situados en pendientes fuertes, erosionados y accidentados. Su valor para soportar algún aprovechamiento es mediano o pobre y deben manejarse con cuidado.

h. Clase VIII

Los suelos de esta clase no son aptos para bosques ni para pastos. Deben emplearse para uso de la fauna silvestre, para esparcimiento o para usos hidrológicos, tierras erosionadas o desnudas, afloramientos rocosos y otros terrenos casi yermos.

Figura 1

Intensidad de uso de la tierra



Nota. En la figura se muestra intensidad de uso de la tierra, donde la capacidad de uso de acuerdo a las limitaciones de la clase I a la clase VIII disminuyen. Fuente: Buckman y Brady (1977).

2.2.1.4. Conflictos de uso de la tierra

Los conflictos de uso de la tierra son aquellas zonas discordantes de acuerdo a su vocación natural y es resultado del cruce algebraico del mapa de capacidad de uso de tierras con el uso actual de tierras (Cartaya *et al.*, 2005).

Por otra parte, Barreda (2002) indica que los conflictos de uso de la tierra permiten comparar el uso actual o real y el uso potencial, con el fin de evaluar el estado de los recursos naturales e identificar áreas que pueden degradarse a consecuencia de los manejos inadecuados.

Así mismo, Guarachi (2001) indica que los conflictos de uso de la tierra son resultados de la discusión de información, intereses o valores entre uso potencial y el uso actual de la tierra referidos a cuestiones relacionadas con el acceso, disponibilidad y calidad de vida en un determinado sitio.

Por otra parte, el Gobierno Regional de Cajamarca (2018) señala que los conflictos de uso de la tierra se dan por:

- **Sobreuso:** los conflictos por sobreuso, se generan cuando el uso actual de la tierra está por encima de la vocación natural.
- **Subuso:** los conflictos por subuso, se produce cuando el uso actual de la tierra, está por debajo de la vocación natural.
- **Uso conforme:** detalla la compatibilidad del uso actual con la capacidad de uso de la tierra.

- **Uso misceláneo (vida silvestre y/o protección):** estas tierras principalmente están conformadas de tierras sin cobertura vegetal, glaciár, cuerpos de agua, infraestructuras urbanas y las principales redes viales del área de estudio.

2.2.1.5. Degradación de la tierra

La degradación de la tierra es considerada como:

La reducción o pérdida de la productividad económica y de la complejidad de los ecosistemas terrestres, incluyendo los suelos, la cobertura vegetal y otros componentes bióticos de los ecosistemas, así como los procesos ecológicos, biogeoquímicos e hidrológicos que tienen lugar en los mismos (UNCCD, 1994).

IDEAM (2004) indica que la degradación de la tierra es la alteración o transformación negativa de una o varias de las ofertas de bienes, servicios y/o funciones ecosistémicas, generalmente son ocasionados por procesos naturales e intervención antropogénica. Mientras que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (2005), se refiere a ella como la pérdida de productividad biofísica como degradación, así como la pérdida de capacidad del suelo o del agua y de otros recursos, para sustentar una determinada actividad productiva en un nivel determinado, es consecuencia de la acción antropogénica y de los factores climáticos.

La degradación de la tierra tiene un alcance más amplio que la erosión y degradación de suelos en conjunto, porque cubre todos los cambios negativos en la capacidad del ecosistema para prestar bienes y servicios (incluso biológicos, servicios y bienes relacionados con el agua y también su relación con bienes, servicios sociales y económicos) (FAO, 2020).

Mientras la degradación de los suelos, se refiere a los procesos desencadenados por las actividades antropogénicas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener la calidad del aire y agua (SEMARNAT, 2002).

El primer paso del proceso de deterioro del suelo es la pérdida de la cubierta vegetal; si este no es controlado oportunamente, provoca desertificación del paisaje (Stocking y Murnaghan, 2003). La erosión del suelo es un proceso natural donde se pierde la capa superficial y nutrientes del suelo, y se empeora mediante prácticas inadecuadas de manejo (FAO, 2020).

Y la erosión del suelo es un proceso natural donde se pierde la capa superficial y nutrientes del suelo, y se empeora mediante prácticas inadecuadas de manejo (FAO, 2020).

La degradación del suelo según Franco y otros (2015) se da por los siguientes procesos:

- - **Física**, por erosión (hídrica pluvial y eólica) y compactación (disminución de la infiltración y espacio poroso así mismo por sellamiento superficial).
- - **Química**, por salinización de los suelos, pérdida de nutrientes, acidificación y por contaminación.
- - **Biológica**, por pérdida de la materia orgánica, por la reducción de la biomasa del suelo y reducción de la micro y macro fauna.

La degradación de los suelos genera problemas ambientales, sociales, económicos y culturales.

2.2.2. Análisis multitemporal

El análisis multitemporal es la metodología que permite obtener conclusiones diferenciadas relacionadas con las transformaciones espaciales de una región. El procesamiento multitemporal como entrada debe contar con una serie de datos, provenientes de fechas o períodos diferentes y posteriormente al procesarlas se cuentan con un conjunto de datos únicos o diferenciados (Mehl y Peinado, 1997).

Entre las acotaciones que hace Chuvieco (2010), el análisis multitemporal permite evaluar cambios de las diferentes coberturas identificadas en el territorio; asimismo indica, el análisis multitemporal abarca mucho mejor que un análisis individual de la imagen. Estas se pueden desarrollar de dos formas: interpretación visual y tratamiento digital. La primera se realiza a partir de las cualidades de la imagen como brillo, color, textura, forma y tamaño de los entes que la componen; mientras el tratamiento digital genera información temática a partir del uso de técnicas matemáticas y estadísticas implementadas mediante algoritmos de clasificación supervisado y no supervisado en programas informáticos (Pérez y Muñoz, 2006).

2.2.3. Imagen satelital

Una imagen satelital es una fotografía adquirida por un satélite artificial de un área específico en teledetección, generada a partir de la interrelación de la radiación electromagnética y la cubierta terrestre, posteriormente transmitida a estaciones para su visualización, procesamiento y análisis final (Bense, 2007).

La energía electromagnética capturada es representada en píxel por un valor digital o nivel digital (ND), estas dependen de la resolución radiométrica del sensor, para un sensor con resolución radiométrica de 8 bits, los niveles digitales varían entre 0 y 255 siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y 255 igual al color blanco (Bravo, 2017).

A continuación, se presentan las principales características de las imágenes satelitales empleadas en la investigación:

Para el estudio se empleó imágenes satelitales L8 con resolución espacial de 30 metros del año 2013, para el año 2020 se empleó imagen S2A de 10 m de resolución espacial y posteriormente se realizó visitas a campo antes y después de la clasificación supervisada para la validación de la información.

Tabla 1

Características de las imágenes satelitales y ortofotos del Google Earth empleadas en la investigación.

Imagen satelital	1970	2000	2013	2020
Satélite	Ortofotos Google Earth		L08 OLI- TIRS	S2A
Fecha de lanzamiento	1970	2000	2013	2020
Resolución espacial (m)	Variado	Variado	30	10

Nota. La tabla muestra las principales características de las imágenes satelitales de L8 y S2A como también ortofotos del Google Earth empleadas en la investigación.

a. Características del satélite Landsat

Fernández y Herrero (2001) aseguran que el lanzamiento del satélite Landsat-1 abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces y fue diseñado con fines de obtención de datos de los recursos terrestres.

Las imágenes L8 constan de 9 bandas con resolución espacial de 30 m de bandas 1 al 7 y 9. La banda (B-1) es apropiada para estudios costeros y aerosoles; la banda (B-9) para detección de cirrus; banda pancromática (B-8) es de resolución espacial de 15 m; bandas térmicas B-10 y B-11 mayormente es empleada para la toma de temperaturas de superficie y son distribuidas con resolución espacial de 100m (United States Geological Survey [USGS], 2020).

b. Característica del satélite Sentinel

Misión desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA), en el marco del programa Copérnico. Las misiones tienen objetivos diferenciados como monitoreo o vigilancia terrestre, oceánico y atmosférico. Estas misiones llevan una gama de tecnologías, como radar e instrumentos de imágenes multiespectrales. Los satélites están diseñados para proporcionar información precisa y actualizada, para mejorar la gestión del territorio, analizar y mitigar efectos del cambio climático y garantizar la seguridad de la población. Las misiones constan de 2 satélites A-B idénticos, que siguen una órbita polar de 180° separados.

Tabla 2

Misión de satélites Sentinel (2014 – 2016).

Misión	Satélite	Objetivo	Fecha de lanzamiento
Sentinel-1	Sentinel-1A	Vigilancia de la tierra	3 de abril de 2014
	Sentinel-1B	y océanos	25 de abril de 2016
Sentinel-2	Sentinel-2A	Servicios terrestres (monitoreo de	23 de junio de 2015
	Sentinel-2B	cobertura de la tierra, agua, otros) servicios globales de	7 de marzo de 2017
Sentinel-3	Sentinel-3A	vigilancia terrestre y oceánica	16 de enero de 2016

Nota. La tabla muestra las principales características de los satélites S2A – 2B, estas tienen resolución temporal de 10 días individualmente, 5 días en conjunto, el primer lanzamiento fue en 2014 de S1A y de S3A fue en 2016. Fuente: ESA (2020).

Tabla 3

Característica de los sensores S2A.

	Bandas	Resolución (m)
B - 1	Aerosol	60
B - 2	Azul	10
B - 3	Verde	10
B - 4	Rojo	10
B - 5	Borde rojo de vegetación	20
B - 6	Borde rojo de vegetación	20
B - 7	Borde rojo de vegetación	20
B - 8	NIR	10
B - 8A	NIR estrecha	20
B - 9	vapor de agua	60
B - 10	SWIR - Cirrus	60
B - 11	SWIR	20
B - 12	SWIR	20

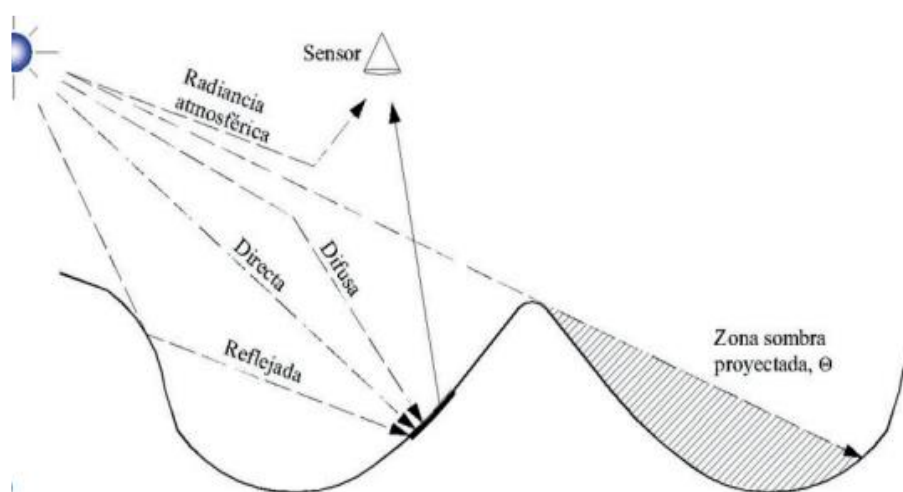
Nota. La tabla muestra 12 bandas de 20, 10 y 60 m de resolución espacial que cuenta el satélite S2A. Fuente: ESA (2020).

2.2.4. Preprocesamiento de la imagen satelital

La energía electromagnética es sometida a una serie de interferencias o ruidos en el proceso de registro de niveles digitales, por tal razón la imagen inicial es de baja calidad, estos errores son generados o están relacionados con el movimiento del satélite que distorsiona geoméricamente la imagen, por problemas mecánicos del sensor que registran píxeles vacíos o con ND incorrecto, capa atmosférica que afecta la respuesta espectral de la cobertura de la tierra al absorber y distorsionar la energía radiante e irradiante y por las características topográficas al generarse sombras e iluminación (Gomasca, 2004).

Figura 2

Proceso de incidencia de la radiación solar, superficie y sensor, errores radiométricos y topográficos.



Nota. La figura muestra el proceso de irradiancia solar hacia la superficie, reflectancia de la superficie y la radiancia recibida por el sensor o cuerpo celeste, así como los errores radiométricos y topográficos generados por las sombras y coberturas de la tierra. Fuente: Sandmeier & Itten (1997).

A continuación, se detallan los tipos de corrección en campo de la teledetección:

a. Corrección geométrica

Tiene por objeto posicionar una o varias imágenes satelitales en el área de trabajo y así eliminar las distorsiones geométricas por desplazamiento y/o distorsiones generadas por el movimiento del sensor, relieve y errores sistemáticos de la imagen (González, 2007). Este proceso conlleva reorganizar las coordenadas de los píxeles con valores radiométricos originales que son adaptados a un sistema geodésico de referencia World Geodetic System 1984 (WGS 84) y a una proyección cartográfica Universal Transverse Mercator (UTM) (Pérez y Muñoz, 2006).

b. Corrección radiométrica

Pretende restablecer valores de niveles digitales (ND) de la imagen, al depurar datos erróneos que son generados por el sensor o condiciones ambientales (Pérez y Muñoz, 2006).

c. Corrección atmosférica de superficie

- Corrección atmosférica L8

Las condiciones atmosféricas varían a través del espacio y el tiempo, estos distorsionan las imágenes satelitales a través de la absorción y la distorsión de la energía electromagnética irradiante; por lo tanto, la corrección atmosférica busca eliminar dicha interferencia para el uso de imágenes de calidad en la clasificación y manejo de índices (Gomasasca, 2004).

Para la corrección atmosférica, se emplea el modelo de transferencia radiactiva Moderate resolution atmospheric transmission (MODTRAN) que fue adoptada por United States Geological Survey (USGS).

Este método, según Bravo (2017), elimina distorsiones de radiancia que recibe el cuerpo celeste (sensor) como los efectos de absorción y dispersión generados por las moléculas y partículas atmosféricas suspendidas como también convierte la radiancia a valores de reflectividad de superficie.

A través de la corrección atmosférica la reflectividad aparente (TOA) es transformada a reflectividad de superficie (USGS, 2020).

- **Corrección atmosférica S2A**

Conforme a Bravo (2017), las imágenes S2A tienen nivel de preprocesamiento de reflectancia TOA escalada, que se puede convertir a reflectancia TOA multiplicando el valor de 0.0001 como se muestra a continuación.

$$\rho_{\lambda} = ND * 0.001$$

Donde,

ND: Nivel digital de S2A

d. **Corrección topográfica**

La topografía del terreno influye en la respuesta espectral, a través de la interacción del sistema solar – superficie – sensor, modificando la intensidad de energía que llega hacia el sensor (Gomasasca, 2004). Este error puede incidir negativamente en la estimación de parámetros biofísicos (Tokola *et al.*, 2001) y generar errores de detección de cambios de las coberturas y usos de la tierra.

La topografía montañosa compleja influye en la reflectividad de superficie, que afecta el reconocimiento y delimitación de áreas de estudio (Instituto Panamericano de Geografía e Historia [IPGH], 2006). Para corregir este efecto se consideran variables principales como la posición del sol, ángulo cenital y azimut, durante el proceso de adquisición de la imagen, mientras más perpendicular y directa es la incidencia del sol será mayor la reflectancia y es menor cuando la incidencia no es directa (Chuvieco, 2010). Entre los métodos semi-empíricos que emplean condiciones de iluminación o ángulo de incidencia solar, brinda resultados confiables y más precisos (Teillet *et al.*, 1982).

Colby (1991) entiende que el método de compensación distribuye homogéneamente valores de radiancia en las zonas iluminadas y en las áreas de sombras, a continuación, se describen las ecuaciones propuestas por el autor.

$$\text{COS}\gamma_i = \text{COS}\theta_s * \text{COS}\eta_i + \text{SIN}\theta_s * \text{SIN}\eta_i * \text{COS}(\phi_a - \phi_o)$$

Donde.

γ_i : Ángulo de incidencia de los rayos solares

θ_s : Ángulo cenital solar

η_i : Ángulo de la pendiente

ϕ_a : Ángulo de acimut solar

ϕ_o : Aspecto u orientación de la pendiente

Posteriormente a la ecuación propuesta por Colby se emplea el modelo de Civco (1989), donde se realiza corrección de iluminación basada en el modelo lambertiano mejorado del método Coseno que ofrece mejores resultados en áreas montañosas, en fin, a mayor pendiente la variabilidad espectral será alta.

A continuación, se describe la ecuación propuesta por Civco (1989).

$$ND'_{ij} = ND_{ij} + \left[ND_{ij} * \left\langle \frac{IL_m - IL_{ij}}{IL_m} \right\rangle \right]$$

Donde,

ND'_{ij} . Valor de pixel corregido (salida)

ND_{ij} Valor de pixel (entrada)

IL_m Valor medio de la imagen de iluminación

IL_{ij} Valor de iluminación para el mismo pixel

2.2.5. Clasificación digital

Según Olaya (2014), la clasificación digital es la operación de análisis en SIG para categorizar una serie de variables y estas conllevan otros análisis. Esencialmente el proceso convierte una serie de capas en otra capa única, con información categórica y es considerado como un proceso que agrupa una serie de clases homogéneas de acuerdo a las características de las coberturas de la tierra.

2.2.5.1. Clasificación supervisada

Se requiere conocimiento previo del área de estudio y los tipos de coberturas para posteriormente analizar las imágenes satelitales, combinar trabajos en campo, mapas e informes técnicos, así como referencias profesionales. Posteriormente se definen y se delimitan las áreas de entrenamiento o áreas piloto, tales áreas son empleadas a fin de entrenar el algoritmo de clasificación el cual calcula parámetros estadísticos de cada banda y de esta forma procede evaluar cada ND de la imagen, comparando y asignando a una respectiva clase (Olaya, 2014).

Según Olaya (2014), la clasificación supervisada define clases temáticas de coberturas de la tierra y es considerada método artificial que sigue etapas como: análisis visual, elaboración de la leyenda del mapa, selección, delimitación de áreas pilotos, generación y evaluación estadística como de los reajustes, elección y aplicación del algoritmo de clasificación, reajustes nuevos de clasificación, finalmente la evaluación de los resultados y presentación final.

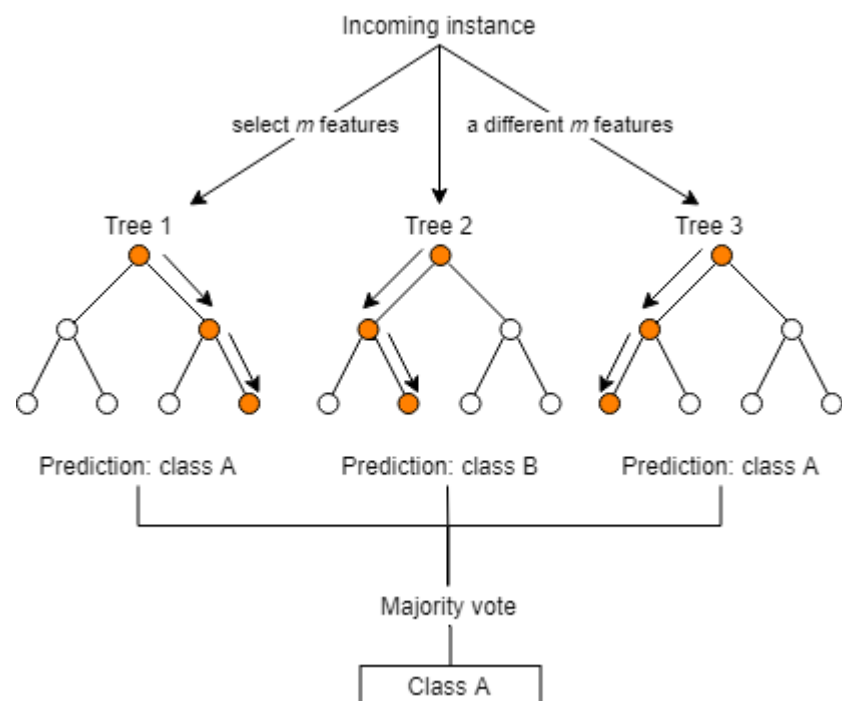
a. Clasificación supervisada con Random Forest

El algoritmo Random Forest (bosques aleatorios) es una técnica de aprendizaje automático empleada en el reconocimiento de patrones y genera múltiples árboles de decisión sobre los datos de entrenamiento (estimadores), los resultados son únicos y robustos en comparación al análisis de cada árbol de decisión (Espinosa, 2020). Considerada como un método estadístico no paramétrico, óptimo en la clasificación y regresión por la precisión alta de estimación, velocidad de cálculo, robustez y con capacidad para predecir variables importantes (Tovar *et al.*, 2019).

El modelo combina diferentes predicciones de estimadores para una mejor precisión.

Figura 3

Diagrama de decisión de Random Forest.



Nota. La figura muestra que, a partir del conjunto de datos muestreados predictoras, cada dato que ingresa conforma un árbol de decisión. Durante la fase de entrenamiento y cada árbol de decisión genera un resultado de predicción, produciéndose nuevos puntos de datos, basándose en la mayoría, el clasificador Random Forest predice la decisión final, así, el clasificador puede promediar o tomar decisión por mayoría. Fuente: R bloggers (2020).

Entre las ventajas principales planteadas por Cánovas *et al.* (2017) adaptado por Espinosa (2020) son:

- Se puede usar en la clasificación o predicción.
- El modelo es simple de entrenar con rendimiento similar, en comparación a las técnicas más complejas.
- Técnica eficiente y certera en base de datos amplios o grandes.
- Maneja miles o cientos de predictores sin eliminar o excluir datos y estima los predictores más importantes.
- Con proporciones grandes de datos perdidos, mantiene su precisión.

Entre las desventajas principales de acuerdo a Cánovas y otros (2017) adaptado por Espinosa (2020) son:

- La visualización gráfica es complicada de interpretar si no cuentas con experticia en el tema.
- Puede sobre ajustar datos en presencia de ruido.
- Las predicciones no son de naturaleza continua, no predice más allá del rango de valores obtenidos.
- No se puede controlar el modelo al 100 %.

b. Validación de la clasificación con la matriz de confusión.

De acuerdo a Gamarra (2017) la matriz de confusión, matriz de error o de contingencia es una herramienta que valora la precisión de un modelo de clasificación basado en el aprendizaje automático, en general, nos muestra una clasificación correcta o incorrecta y permite evaluar la precisión de una clasificación, contrastando resultados con información de referencia o de campo.

c. Coeficiente Kappa de Cohen

Coeficiente Kappa calcula precisión entre la imagen clasificada y la realidad, de acuerdo a la exactitud de la clasificación así mismo elimina los componentes al azar. El valor de K varía entre 0 y 1, un coeficiente de 0,80 significa que dicha matriz es 80 % mejor que la resultante (MINAM, 2014).

Landis y Koch (como se citó en MINAM, 2014) indica que Coeficiente Kappa de Cohen tiene una valoración como se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 4

Valoración del coeficiente de Kappa de Cohen.

Coeficiente kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1	Casi perfecta

d. Matriz de cambio de uso de la tierra

La matriz de cambio de uso de la tierra es la representación del cambio de la cobertura de la tierra en unidades de medida como hectáreas, metros cuadrados durante los diferentes períodos de estudio.

2.2.6. Interpretación de imágenes

Está enfocada a la interpretación visual de las imágenes multitemporales, a través de la digitalización en pantalla de las áreas de cambio, teniendo en cuenta criterios de interpretación de imágenes que se detallan a continuación.

2.2.6.1. Criterios visuales para la interpretación.

Entre las principales ventajas del análisis visual es la capacidad de incorporar a la interpretación criterios complejos. Porque el tratamiento digital se basa en la intensidad radiométrica de los píxeles, mientras el tratamiento visual hace uso de elementos como el color, textura, forma, tamaño y estructuras muy difíciles de definir en términos digitales.

Entre los criterios antes mencionados permiten discriminar categorías con comportamiento espectral homogéneo o parejo.

Figura 4

Criterios de interpretación visual de una imagen.



Nota. La figura muestra criterios de interpretación visual, de acuerdo al grado de complejidad. Fuente: Chuvieco (2010).

a. Tono

Se refiere al brillo relativo de los objetos que capta el sensor en una banda del espectro y es considerado criterio más importante para la interpretación de la imagen, está relacionado con la cantidad de energía reflejada de la cobertura, diferenciados de acuerdo a las características de cada una de ellas (Pérez y Muñoz, 2006).

b. Color

Para este criterio mayormente es empleado la composición de bandas que identifican diferentes tonalidades, estas varían de acuerdo al sensor que adquirió la imagen (Pérez y Muñoz, 2006).

c. Textura

Son repeticiones de cambios tonales, referido a los contrastes espaciales que componen la imagen- Este criterio es muy importante para discriminar objetos con el mismo o parecido comportamiento espectral (Pérez y Muñoz, 2006).

d. Forma

Está determinado por la forma de los objetos, perímetro y forma bidimensional de estos (Pérez y Muñoz, 2006).

e. Tamaño

Considerado de acuerdo a la resolución espacial y escala de trabajo (Pérez y Muñoz, 2006).

f. Patrón

Esta se refiere a la distribución espacial de los objetos, repetición de formas que se emplean para identificar una entidad como el caso de patrones de drenaje detrítico, paralelo, radial y patrones de construcción (Pérez y Muñoz, 2006).

g. Sombras

Al generarse sombras o espacios oscuros de acuerdo a la iluminación del sol y topografía del terreno, estas ayudan discriminar de acuerdo a la fecha de adquisición de la imagen y relieve o pendiente del área de estudio (Pérez y Muñoz, 2006).

h. Localización

Se refiere a la posición geográfica del área de estudio en ciudades, valles, montañas, entre otros; mayormente por localización se identifican zonas donde probablemente se desarrolla cierta cobertura de acuerdo a la topografía, pendiente y clima (Pérez y Muñoz, 2006).

2.2.7. Metodología CORINE Land Cover (CLC)

La metodología CLC, es empleada para la elaboración de mapas de coberturas y usos de la tierra. Determina una leyenda de jerarquía que permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de los cambios de coberturas y usos de la tierra (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2008). Interpretada a través de imágenes de satélites y ortofotos del Google Earth. Esta leyenda vincula categorías y subcategorías de clasificación acorde a las características del territorio

Entre las principales ventajas de la metodología CLC según IDEAM es:

- Se obtiene una capa de cobertura de la tierra de manera rápida y sencilla (calidad - costo).
- Permite comparar datos y porcentajes de uso y cambio de la cobertura de la tierra.
- Permite desarrollar el análisis multitemporal del cambio y ocupación del territorio de una manera sencilla y rápida.

Actualmente la Dirección General de Ordenamiento Territorial – DGOT – MINAM, viene empleando la metodología CLC y brinda asistencia técnica a los distintos gobiernos nacionales y locales empleando leyenda de cobertura de la tierra adoptada para Perú.

2.2.8. Índices en teledetección

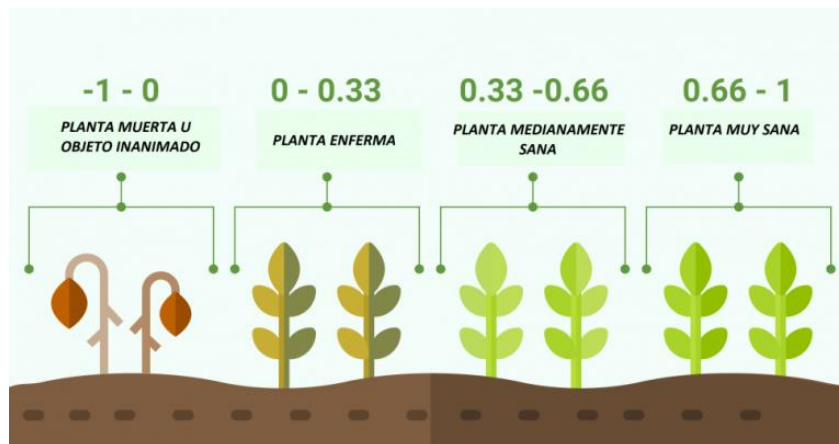
Con el fin de obtener información acerca del comportamiento espectral, de diferentes unidades de cobertura de la tierra, se aplicaron una serie de coeficientes o índices espectrales para cada imagen satelital.

A continuación, se presentan los índices empleados en la investigación:

- Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI):** indicador que emplea bandas espectrales roja y cercana al infrarrojo, está relacionado con la vegetación, los valores varían de -1 a 1, valores negativos corresponden a cuerpos de agua, infraestructuras, rocas, nieve y tierras desnudas; mientras que los valores cercanos a 1 corresponden a vegetación vigorosa o sana y es indicativo de la abundancia de la cobertura vegetal (Grupo TYC GIS formación, 2020).

Figura 5

Valores de NDVI de la cobertura vegetal.



Fuente: Grupo TYC GIS formación (2020).

- $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$
- $NDVI (L8) = (B5 - B4) / (B5 + B4)$
- $NDVI (L4 - 7) = (B4 - B3) / (B4 + B3)$
- $NDVI (S2A) = (B8 - B4) / (B8 + B4)$

b. **Índice diferencial de agua normalizado (NDWI)**: empleada para el análisis de cuerpos de agua. El índice utiliza bandas verdes y casi infrarrojas (Bahadur, 2018).

- $NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$ Método de McFeeters (1996)
- $NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ Método de Gao (1996)
- $NDWI (L8) = (B3 - B5) / (B3 + B5)$
- $NDWI (L4 - 7) = (B2 - B4) / (B2 + B4)$
- $NDWI (S2A) = (B3 - B8) / (B3 + B8)$

c. **Índice diferencial normalizado de nieve (NDSI)**: indicador numérico que muestra nieve en áreas terrestres. La nieve absorbe mayor parte de la radiación incidente en el SWIR mientras que las nubes no, esto permite a NDSI distinguir la nieve de las nubes. Es empleada mayormente para determinar mapas de cobertura de nieve y hielo - monitoreo de glaciares (Bluemarblegeo, 2019).

- $NDSI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$

- $NDSI (L8) = (B3 - B6) / (B3 + B6)$

- $NDSI (L4 - 7) = (B2 - B5) / (B2 + B5)$

- $NDSI (S2A) = (B3 - B11) / (B3 + B11)$

d. **Índice de diferencia normalizada de humedad (NDMI)**: empleado para determinar el contenido de agua en la vegetación. Relacionado con los valores de NIR y SWIR (USGS, 2020).

- $NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$

- $NDMI (L8) = (B5 - B6) / (B5 + B6)$

- $NDMI (L4 - 7) = (B4 - B5) / (B4 + B5)$

- $NDMI (S2A) = (B8 - B11) / (B8 + B11)$

2.3. Definición de términos

Álgebra de mapas: se obtiene a partir de la combinación de múltiples capas de entrada (capas vectoriales y ráster). Entre los ejemplos básicos del álgebra de mapas son intersect, merge o unión. El potencial del álgebra de mapas es el trabajo con valores continuos, generados a partir de los píxeles (ESRI, 2020).

Área de influencia del alud de 1970: en este trabajo se entiende como aquel espacio geográfico que fue sepultado a través del peligro geológico de movimiento en masa, así como tierras que no fueron sepultadas en 1970 ubicadas al noroeste, suroeste y sureste de la ciudad de Yungay (Figura 43, Anexo A).

Área mínima o unidad mínima cartografiable: es la unidad mínima de representación cartográfica, con el fin de lograr coherencia en la representación espacial, eficiencia en la lectura y utilidad del mapa y a nivel internacional se emplea área mínima cartografiable de 5 x 5 mm (Salitchev, 1979). Por otro lado, Priego y otros (2011) manifiestan que 4 x 4 mm garantiza operatividad cartográfica y lectura del mapa.

Biotemperatura: es la temperatura del aire, aproximadamente entre 0 °C y 30 °C, que determina el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis de las plantas, respiración y transpiración) y la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y en la vegetación (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 1995).

Ortofoto: resultado del conjunto de imágenes aéreas, corregidas ortogonalmente (fotografía del terreno corregida) al emplearlas las mediciones son exactas a diferencia de una fotografía aérea simple; el proceso de la corrección se denomina ortorectificación (Wolf, 1983). Estos como resultado muestran entidades naturales y antropogénicas; y son resultado de las fotografías aéreas corregidas (Manzer, 1995). Como ejemplo tenemos las imágenes de Google Earth.

Precipitación: Es la humedad condensada que cae de la atmósfera sobre la superficie de la tierra bajo diferentes formas como lluvia, llovizna, chubasco, granizo, nieve, rocío, niebla, entre otros (INRENA, 1995).

Resolución espacial: objeto más pequeño diferenciado sobre una imagen (Chuvieco, 2010). Estas son condicionantes de la escala de trabajo y fiabilidad de la interpretación, mientras menor sea el tamaño del pixel es menor la discriminación de la cubierta terrestre (Pérez y Muñoz, 2006).

Resolución espectral: referido al número y ancho de las bandas espectrales que son discriminados por un sensor (Chuvieco, 2010). Mientras más estrecha o mayor cantidad de bandas la resolución espectral se incrementa (Pérez y Muñoz, 2006).

Resolución radiométrica: alude a los niveles de gris que aparecen en la fotografía o imagen satelital (Chuvieco, 2010). A mayor número de bits a registrar será mayor la resolución radiométrica (Pérez y Muñoz, 2006).

Resolución temporal: frecuencia de visita de un espacio geográfico por el sensor para la toma de datos (Chuvieco, 2010). Está condicionada por la órbita, velocidad del satélite y ángulo de barrido (Pérez y Muñoz, 2006).

Suelo: es el material orgánico y mineral de la capa superior de la tierra no consolidado, donde crecen diferentes especies, este es consecuencia o producto de la influencia del tiempo y combinación de la topografía, clima, organismos (flora, fauna y ser humano) y del material parental (rocas y minerales originarios) (FAO, 2020). Por otra parte, SEMARNAT (2002) indica que es un cuerpo natural no consolidado que cubre la mayor parte de la corteza terrestre continental y está compuesta por minerales, materia orgánica, aire, agua y organismos vivos; que tiene capacidad de soporte de la cobertura vegetal.

Tierras arables: aptas para cultivos intensivos y otros usos (agricultura diversificada), subdivididas en cuatro clases de Capacidad: I a IV, cuyas limitaciones y necesidades aumentan progresivamente de la clase I a la clase IV (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN], 1973).

Tierras marginales para la agricultura: aptas exclusivamente para pastoreo y forestales, con una sola clase de capacidad de uso, la clase VII, que agrupa tierras para propósitos pecuarios extensivos y explotación forestal (ONERN, 1973).

Tierras misceláneas: son unidades cartográficas que agrupan formas de tierras que tienen poco o nada de suelos. Normalmente, son áreas sin potencialidad para propósitos agrícolas como: tierra aluvional pedregosa, tierra de pendiente con cárcavas o fuertemente erosionadas, lecho o cauce de río, tierra coluvial pedregosa, áreas urbanas y los acantilados de terrazas (ONERN, 1973).

Tierras no aptas para fines agropecuarios ni explotación forestal: conformadas por una clase de capacidad de uso, de clase VIII, cuyas limitaciones impiden su utilización para propósitos agropecuarios. Relegada para otros fines como lagunas, ríos, tierras urbanas y otros (ONERN, 1973).

Tierras no arables: aptas solo para cultivos permanentes (frutales, pastos y forestales), subdivididas en dos clases de capacidad de uso V y VI, cuyas limitaciones y necesidades aumentan progresivamente de la clase V a la clase VI (ONERN, 1973).

Uso potencial de la tierra: es el mejor uso asignado del recurso suelo para obtener una mayor productividad (Guarachi, 2001).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva - comparativa, debido al manejo de información histórica de las imágenes satelitales L8 y S2A, así como ortofotos del Google Earth y por el objetivo la investigación es de tipo aplicada.

Es longitudinal – retrospectiva, por el análisis multitemporal de las coberturas de la tierra y verificación del cambio entre períodos de análisis, por las tendencias o cambios a través del tiempo, para demostrar una secuencia multitemporal de los fenómenos.

3.2. Diseño de la investigación

Este trabajo corresponde a una investigación de tipo descriptiva, aplicada al campo de la teledetección por medio de imágenes satelitales y ortofotos del Google Earth, que permitió el análisis de los cambios de la cobertura y usos de la tierra multitemporalmente.

Los diagramas de procesos seguidos en esta investigación se presentan en la Figura 6, 7, 8 y 9.

3.3. Procedimientos

Este trabajo está enfocado en el desarrollo de la clasificación supervisada e interpretación de imágenes y finalmente verificación de exactitud de los mapas temáticos a través del coeficiente Kappa de Cohen.

Los datos tomados fueron georreferenciados en campo, con previo reconocimiento de la zona de estudio y con fichas técnicas, para posteriormente realizar la clasificación supervisada.

Para desarrollar el trabajo de investigación se emplearon los siguientes procedimientos:

3.3.1. Consideraciones previas

a. Elaboración de la cartografía base

Se recopiló información temática a través de las diferentes instituciones del estado como: bibliográfica, estadística, hidrográfica, centros poblados y límites distritales (Figura 43, anexo). Los datos empleados fueron en formato digital shapefiles y layers.

b. Modelo digital de elevación (DEM) empleado en la investigación

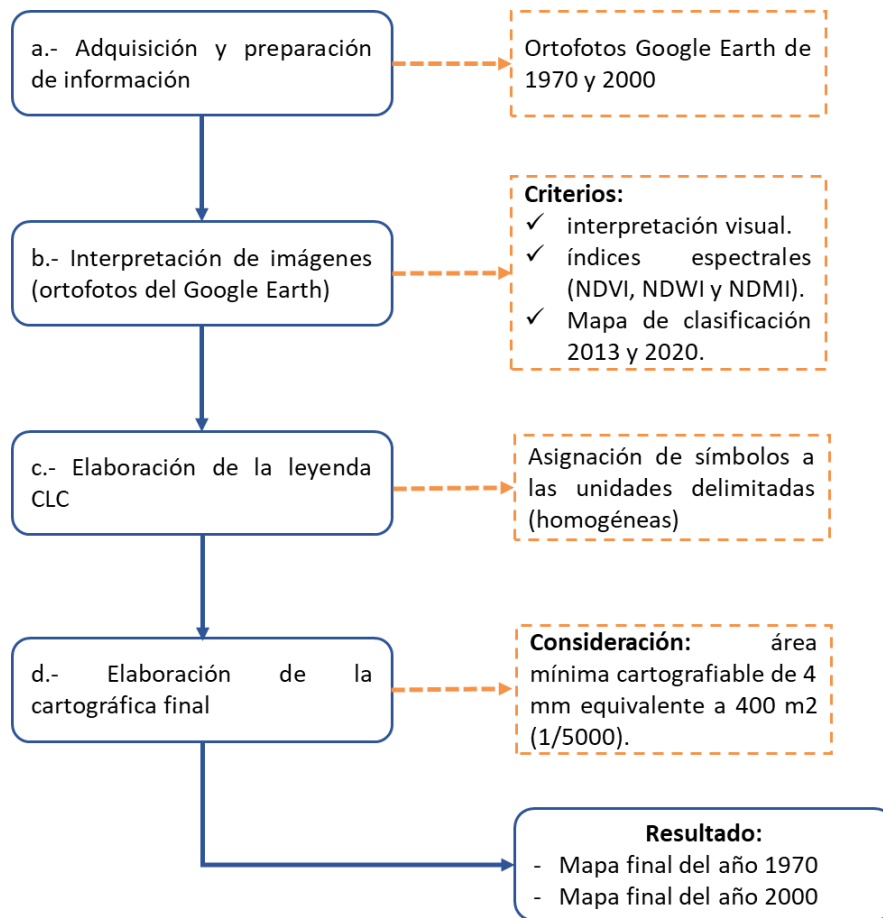
DEM empleado en la investigación fue “ALOS Palsar DEM” producto del satélite Advanced Land Observation Satellite (ALOS) o conocido como DAICHI, proyecto internacional de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), destinada al desarrollo de modelos de elevación digital de 12.5 m versión remuestreada. Para descargar ALOS PALSAR DEM se empleó el siguiente portal web de la NASA “<https://search.asf.alaska.edu/#/>”.

3.3.2. Proceso de análisis de ortofotos del Google Earth año 1970 y 2000

Para delimitar las ortofotos del Google Earth se empleó *software* QGIS y los pasos seguidos fueron:

Figura 6

Procedimiento de análisis de ortofotos del Google Earth año 1970 y 2000



Para los años 1970 y 2000 el análisis desarrollado fue mediante la interpretación de imágenes, empleando ortofotos del Google Earth y la metodología utilizada fue CLC.

3.3.3. Clasificación radiométrica

a. Análisis de imagen satelital L8 año 2013

Característica de L8 empleada en la investigación fue “LC08_L1TP_008066_20130610_20130611_01_T1.tar.gz”, con cobertura de nube 6.19 %.

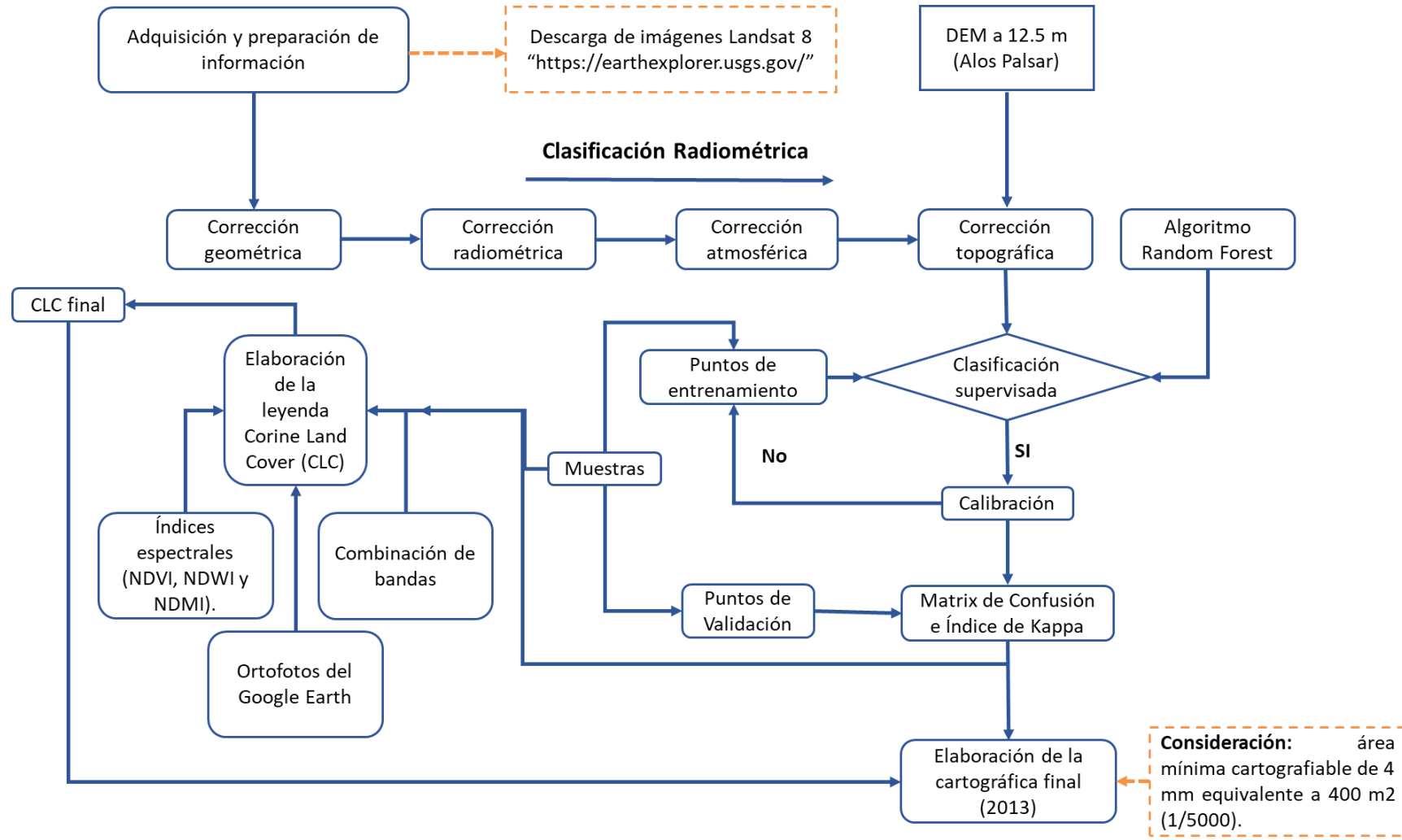
Las imágenes L8 son distribuidas en el sistema “EPSG:32618 - WGS 84 / UTM zone 18N – proyectado” con la reproyección o corrección geométrica se corrigió hacia el sistema “EPSG:32718 - WGS 84 / UTM zone 18S – proyectado”.

Para implementar la metodología CLC fue necesario realizar combinación de bandas e índices espectrales, para este proceso se empleó *software* R y R Studio, donde se evidenció las coberturas y usos de la tierra.

A continuación, se muestra procesos de análisis de L8 del año 2013:

Figura 7

Procedimiento de análisis de L8 del año 2013



Entre las bandas empleadas de L8 fueron 2, 3, 4, 5, 6, 7 y la banda 1 se omitió por el parecido a la banda azul (estudios de aerosoles costeros) y las bandas del infrarrojo registran valores de temperatura del objeto. A continuación, se muestra composición de bandas.

Tabla 5

Composición de bandas L8.

Combinación de bandas	R	G	B
Color natural	4	3	2
Falso color (urbano)	7	6	4
Color infrarrojo (vegetación)	5	4	3
Agricultura	6	5	2
Penetración atmosférica	7	6	5
Vegetación saludable	5	6	2
Tierra / agua	5	6	4
Color natural con eliminación atmosférica	7	5	3
Infrarrojos de onda corta	7	5	4
Análisis de vegetación	6	5	4

Fuente: Bravo (2017)

b. Análisis de la imagen satelital S2A año 2020

Las imágenes S2A empleadas fueron de la siguiente característica:

“S2A_MSIL1C_20200428T152641_N0209_R025_T17LRK_20200428T185016.SAFE”, con cobertura de nube 6.87 % y están corregidas atmosféricamente (nivel L2A).

Estas imágenes no fueron corregidas topográficamente por falta de información de modelos de elevación digital de 10 m de resolución y geoméricamente por defecto está corregida.

Para implementar la metodología CLC fue necesario realizar combinación de bandas (Tabla 7); para este proceso se empleó *software* R y R Studio, donde se pudo evidenciar tipos de coberturas y usos de la tierra.

Tabla 6

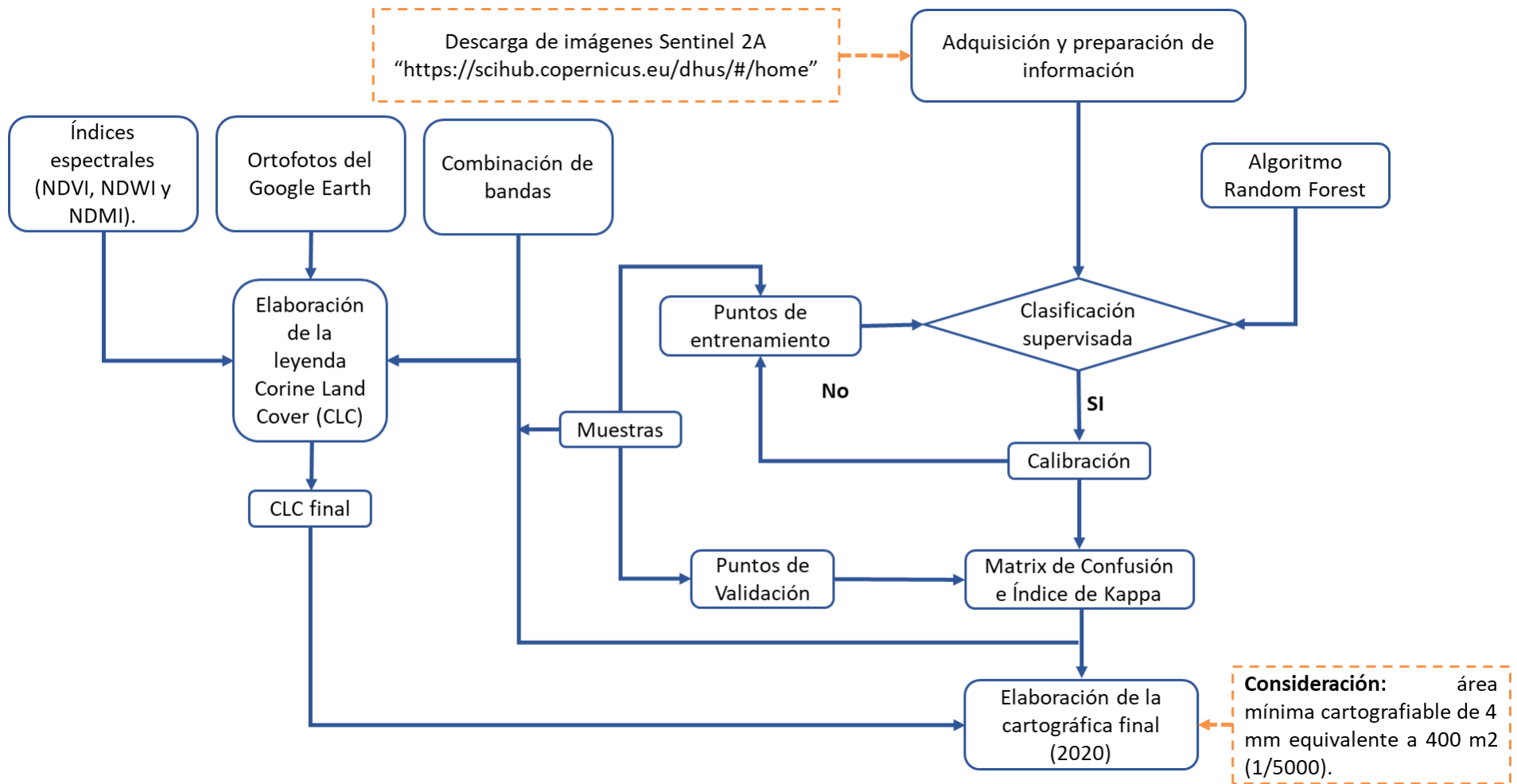
Composición de bandas S2A.

Combinación de bandas	R	G	B
Color natural	4	3	2
Falso color infrarrojo	8	4	3
Falso color urbano	12	11	4
Agricultura	11	8	2
Penetración atmosférica	12	11	8A
Vegetación saludable	8	11	2
Tierra / Agua	8	11	4
Colores naturales con eliminación atmosférica	12	8	3
Infrarrojos de onda corta	12	8	4
Análisis de vegetación	11	8	4

Fuente: ESA (2020).

Figura 8

Procedimiento de análisis de imágenes satelitales S2A del año 2020

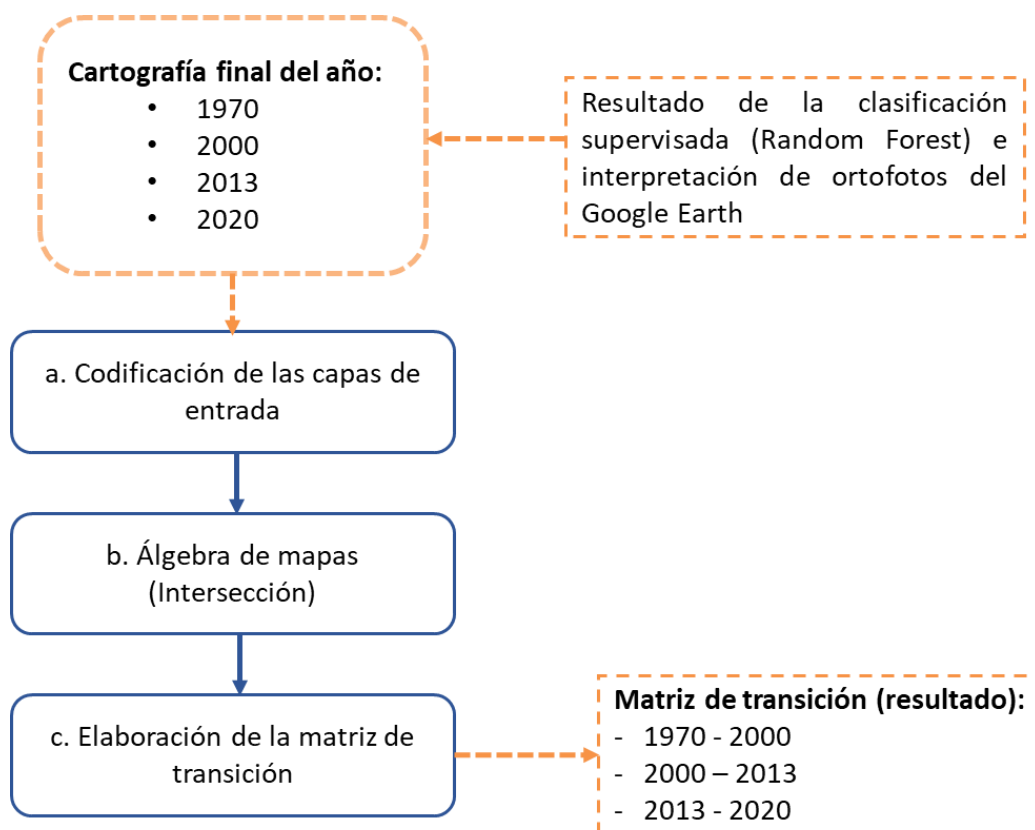


3.3.4. Análisis del cambio de uso de la tierra 1970 – 2020.

Para este proceso se empleó matriz de transición; como entrada se contó con capas de 1970, 2000, 2013 y 2020 los pasos considerados fueron como se muestra a continuación:

Figura 9

Procedimiento para elaborar, matriz de transición 1970 - 2020



3.3.5. Conflictos de uso de la tierra

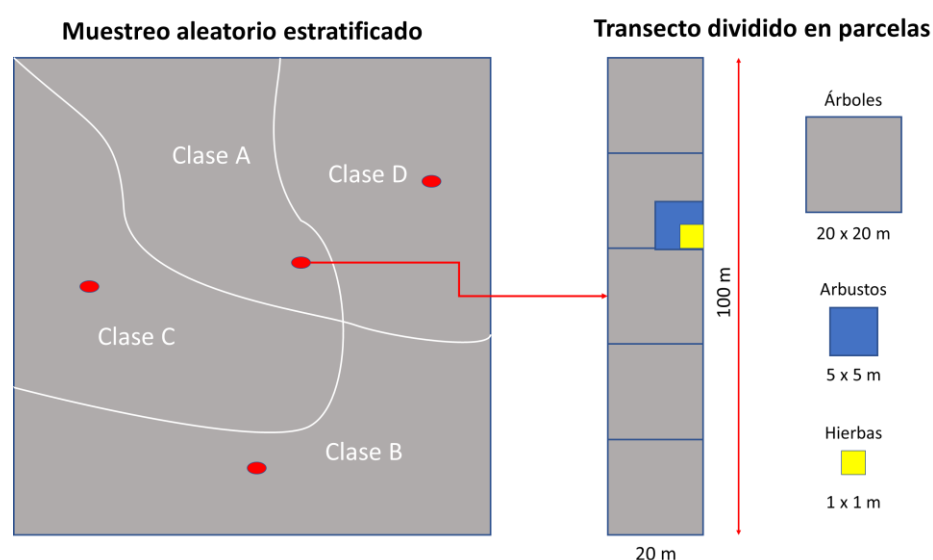
Para determinar conflictos de uso de la tierra se empleó mapa de uso actual de la tierra del año 2020 y mapa desarrollado por ONERN de capacidad de uso de tierras del año 1973; donde se superpuso mapas temáticos para determinar usos conformes, subusos, sobre usos y de protección o tierras no aptas para fines agropecuarios ni explotación forestal.

3.3.6. Caracterización de la cobertura vegetal.

Para caracterizar la cobertura vegetal se tuvo en cuenta el muestreo aleatorio estratificado por proporciones y transectos divididos por parcelas, donde la población se separó en subgrupos homogéneos y dentro de estos se tomaron muestreos aleatorios simples, para este fin se empleó el mapa temático del año 2020 (Figura 48, anexo).

Figura 10

Muestreo aleatorio estratificado por proporciones y transecto dividido por parcelas.



Para el muestreo aleatorio estratificado se tuvo en cuenta clases de coberturas, delimitadas en el área de estudio, posteriormente se empleó transectos de 20x100 m divididos en 5 subparcelas de 20x20 m que fueron empleadas para tomar muestras de árboles, para arbustos se consideró 5x5 m y para hierbas se consideró cuadrante de 1x1 m.

Cada cobertura identificada se registró en las fichas de campo y para las especies desconocidas se tomaron muestras para su reconocimiento en gabinete, estas muestras se tomaron en la transición de período húmedo a seco y en el cambio de composición florística de la vegetación como indica MINAM en la “Guía de inventario de la flora y vegetación” (mes de febrero y marzo de 2021).

Para el reconocimiento de las especies en gabinete se empleó investigaciones e informes del MINAM de acuerdo a los nombres científicos y comunes, como también se indagó a pobladores y expertos en temas de botánica.

3.4. Población

La población está conformada por las coberturas de la tierra en diferentes períodos de estudio, del área de influencia del alud de 1970.

3.5. Muestra

3.5.1. Muestra para la clasificación supervisada

La muestra tomada para el año 2020, son diferentes coberturas y usos de la tierra del área de influencia del alud de 1970; de acuerdo a la metodología CLC, en total se tomaron 224 muestras, 179 en gabinete a través del Google Earth y 45 muestras en campo a través de las redes viales como indica la guía del MINAM. Las muestras de entrenamiento fueron 120 puntos equivalente a 54 %, empleadas aleatoriamente por el *software* R y R Studio.

Para el año 2013, se tomaron 46 % de muestras equivalente a 67 puntos de 146 a través del muestreo aleatorio simple, tomadas a través del Google Earth para la clasificación supervisada en R y R Studio.

Para 1970 y 2000 no se tomaron muestras, porque se realizó delimitación a través de la interpretación de imágenes empleando imágenes de satélite y ortofotos del Google Earth.

3.5.2. Muestras para la caracterización de la cobertura vegetal

Para caracterizar la cobertura vegetal se realizó muestreo estratificado por proporciones y posteriormente se empleó transectos divididos en parcelas de 20x20 m para caracterizar la cobertura arbórea, 5x5 m para las coberturas arbustivas y 1x1 m para las hierbas (figura 10). Y total de muestras tomadas por proporciones se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7*Muestreo estratificado por proporciones*

Nº	Coberturas	Código	Área (%)	%	Número de muestras
1	Cultivos transitorios	CT	31.23	36	4
2	Cultivos permanentes	CP	6.85	8	1
3	Bosque denso bajo	BDB	13.35	15	2
4	Bosques plantados	BP	4.61	5	1
5	Vegetación arbustiva/ herbácea abierta	VAHA	30.26	35	4
Total				100	12

Nota. La tabla muestra, total de puntos tomados por tipos de coberturas, a través del muestreo estratificado por proporciones.

3.5.3. Muestras para la caracterización de los cultivos transitorios, permanentes y bosques plantados.

Se tomaron en cuenta a través de la visita a campo por las diferentes redes viales que atraviesan el área de estudio (Figura 49, Anexo A y Tabla 7).

3.6. Técnica de análisis de datos

a. Técnica empleada antes de la clasificación

- **Interpretación de imágenes:** permitió extraer información de las ortofotos del Google Earth mediante la interpretación visual, teniendo en cuenta aspectos como color, tono, brillo y patrones espaciales.
- **Índices de clasificación:** se empleó para corregir la clasificación supervisada, para tal acción fue necesaria el uso de los siguientes índices como: NDVI, NDWI y NDMI.
- **Clasificador CLC:** se empleó para construir mapas de coberturas y usos de la tierra de los años 1970, 2000, 2013 y 2020.

b. Técnica empleada en la etapa de clasificación

- **Clasificación supervisada (Random Forest):** fue empleada para el reconocimiento de patrones mediante el algoritmo Random Forest.

c. Técnica empleada post clasificación

- **Algebra de mapas:** esta técnica nos permitió combinar capas clasificadas (variables continuas) y extraer valores nuevos o diferenciados.
- **Matriz de transición o cambio:** esta matriz fue empleada para determinar las transiciones o cambios de las diferentes coberturas de la tierra desde 1970 hasta 2020.
- **Observación y validación en campo:** se usó para observar las coberturas y usos de la tierra.

3.7. Instrumentos de recolección de la información

3.7.1. Clasificación supervisada

a. Instrumentos mecánicos o electrónicos

- *Software* GIS:
 - ✓ ArcGIS
 - ✓ QGis.
 - ✓ R y RStudio.
- Google Earth

3.7.2. Caracterización de la cobertura vegetal

a. Instrumentos documentales

- Fichas de caracterización de la cobertura vegetal (fichas de registro).
- Guía de observación.
- Mapa de clasificación supervisada del año 2020.
- Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra del año 1973.

b. Instrumentos mecánicos o electrónicos

- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Cinta métrica (50 m).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio fue el área de influencia del alud de 1970, con extensión de 3392.24 ha, sepultada por el alud de 1970 y delimitada por este (Figura 44, en el anexo).

Geográficamente se ubica en el departamento de Áncash, provincia de Yungay; entre los distritos de Yungay y Ranrahirca a una altitud promedio de 2470 m s.n.m., a 56 km al norte de la ciudad de Huaraz. Siendo su localización geoespacial latitud norte 8987098.55 m S y longitud este 200931.42 m E.

Hidrográficamente está ubicado en la Cordillera Blanca, vertiente del océano Pacífico, cuenca del río Santa y en la subcuenca del río Ranrahirca.

4.2. Aspecto social

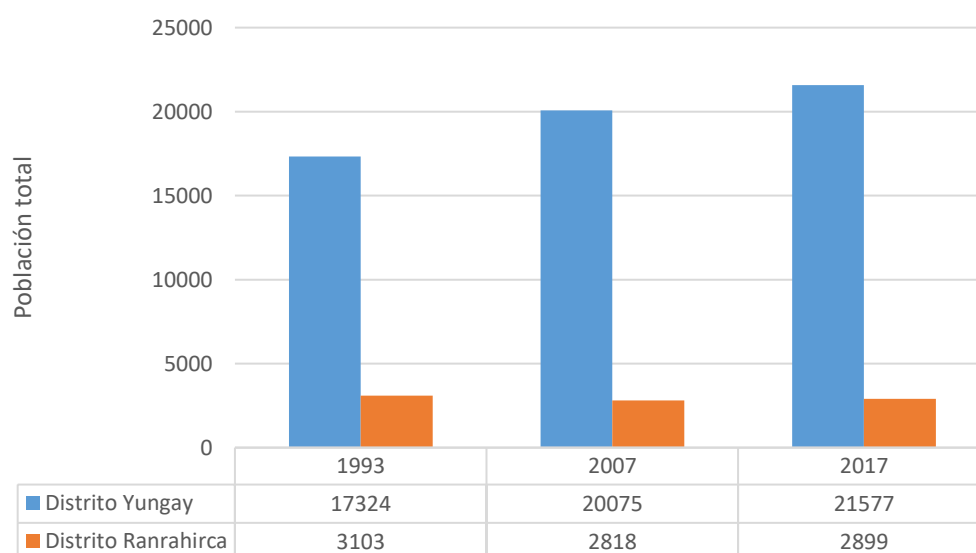
4.2.1. Demografía

La provincia de Yungay, en 24 años entre los censos de 1993 y 2017, ha experimentado aumento de la población total en 4712 habitantes y la región Áncash creció demográficamente en 184092 habitantes.

Tabla 8*Censo nacional de población y vivienda 2017.*

Ámbito	Población 1993	Población 2007	Población 2017
Provincia de Yungay	50188	54963	54900
Distrito Yungay	17324	20075	21577
Distrito Ranrahirca	3103	2818	2899

Nota. La tabla muestra población total de los distritos de Yungay y Ranrahirca. Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (1993, 2007 y 2017)

Figura 11*Censo nacional de población y vivienda 2017.*

Nota. La figura muestra población total de los distritos de Ranrahirca y Yungay, donde la población del distrito de Yungay aumentó en 4253 habitantes de 1993 hasta 2017, mientras la población total del distrito de Ranrahirca disminuyó en 204 habitantes.

4.2.2. Densidad poblacional

Nota. La figura muestra la población total de los distritos de Ranrahirca y Yungay, donde la población del distrito de Yungay aumentó en 4253 habitantes de 1993 hasta 2017, mientras la población total del distrito de Ranrahirca disminuyó en 204 habitantes.

Tabla 9

Densidad poblacional por distritos de la provincia de Yungay

Ámbito	Superficie					
	Territorial (ha)	1981	1993	2007	2015	2026
Provincia Yungay	1364.84	28.95	36.9	40.4	43.00	46.28
Distrito Yungay	273.59	51.32	63.32	73.38	80.09	88.37
Distrito Ranrahirca	21.72	104.30	142.90	129.77	124.66	119.15

Nota. La tabla muestra que la población desde 1981 aumentó considerablemente, de igual forma la densidad poblacional (Hab/km²), sin embargo, la superficie o área ocupada es constante. Fuente: PAT-Yungay (2016).

4.3. Aspecto económico

4.3.1. Población económicamente activa (PEA)

Tabla 10

Población censada en edad de trabajar por sexo 2007.

PEA 2007	Hombre	Mujer	Total
Provincia Yungay	12685	3745	16430
Distrito Yungay	5054	2088	7142
Distrito Ranrahirca	725	216	941

Nota. Los datos estadísticos del censo de INEI del año 2007 indican que los hombres en edad de trabajar o mayor a 14 años fueron 12685 personas y en los distritos de Yungay y Ranrahirca, los de mayor proporción también fueron los hombres en 5054 y 725 personas. Fuente: INEI (2007).

Tabla 11

Población censada en edad de trabajar por sexo 2017

PEA 2017	Hombre	Mujer	Total
Provincia Yungay	18 002	19 411	37 413
Distrito Yungay	7390	7798	15 188
Distrito Ranrahirca	998	1023	2021

Nota. Los datos estadísticos del censo de INEI del año 2017 indican que las mujeres en edad de trabajar o mayor a 14 años fueron 19411 personas así mismo en los distritos de Yungay y Ranrahirca los de mayor proporción fueron también las mujeres en 7798 y 1023 personas. Fuente: INEI (2017).

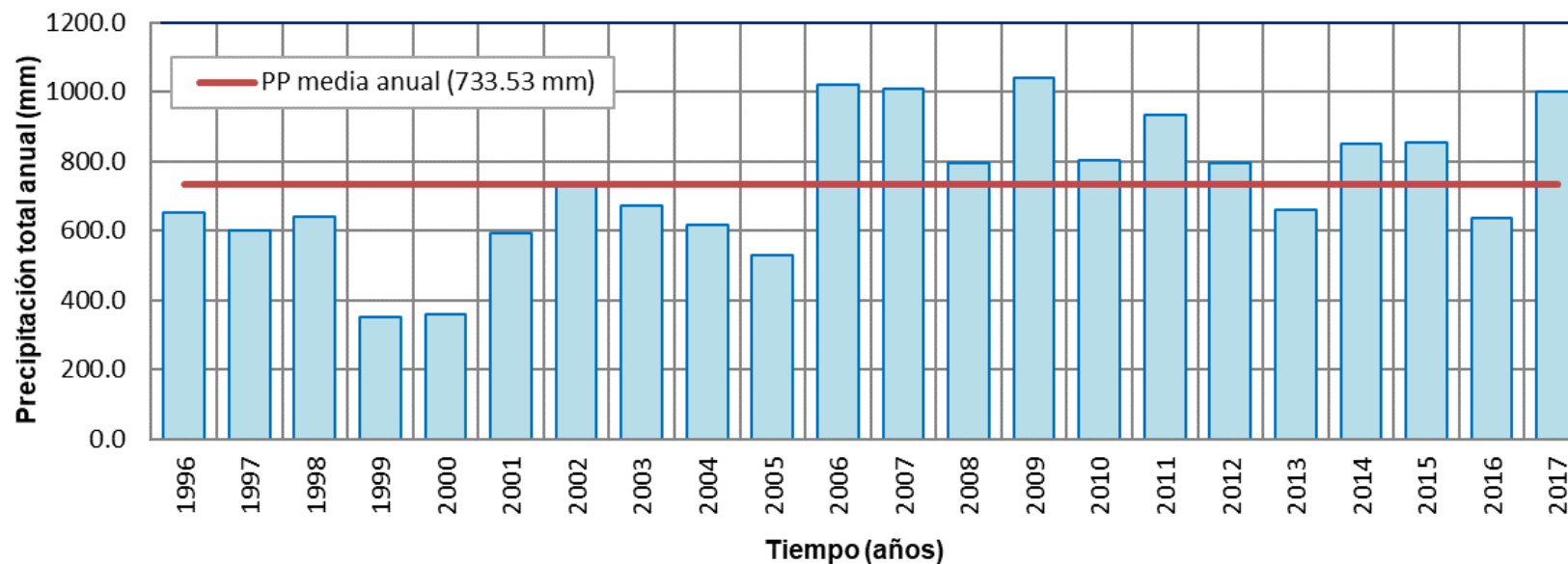
4.4. Caracterización del área de estudio

4.4.1. Caracterización climática

a. Precipitación

Figura 12

Histograma de precipitación total anual - estación Yungay (000444)

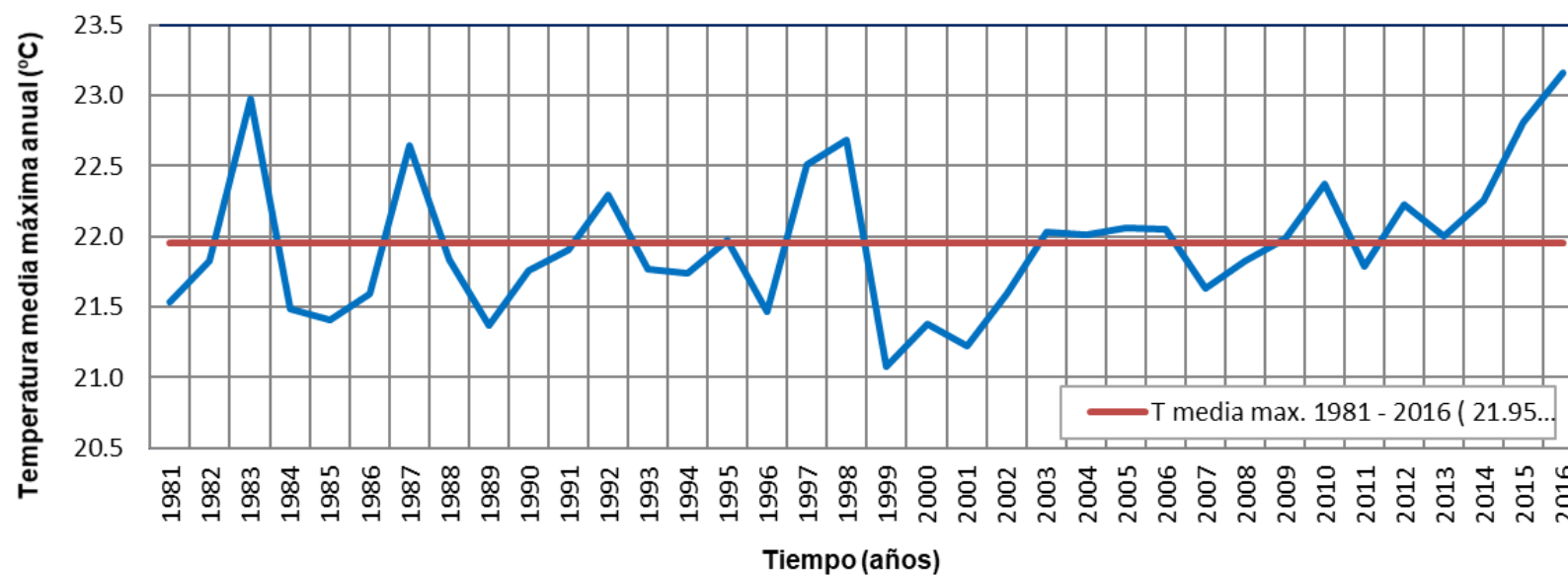


Nota. La figura muestra precipitación total anual, donde la precipitación máxima es 1038.80 mm, media de 733.53 mm y mínima de 350.60 mm. Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]- PISCO (2020).

b. Temperatura máxima

Figura 13

Temperatura media máxima anual - estación Yungay (000444)

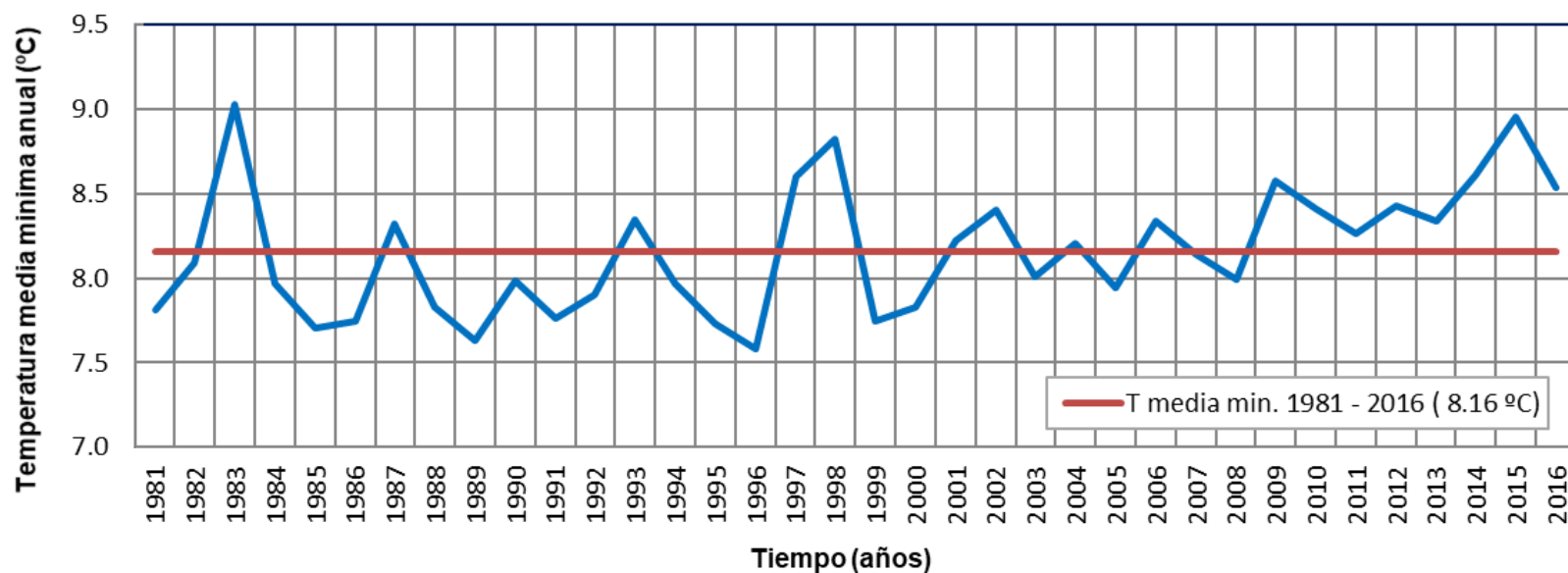


Nota. La figura muestra variación de la temperatura media máxima anual desde 1981 – 2016, donde la temperatura máxima es 23.16 °C, media 21.95 °C y mínima 21.07 °C. Fuente: SENAMHI- PISCO (2020).

c. Temperatura mínima

Figura 14

Temperatura media mínima anual - estación Yungay (000444)



Nota. La figura muestra variación de la temperatura media mínima anual desde 1981 – 2016, donde la temperatura máxima es 9.03 °C, media 8.16 °C y mínima 7.58 °C. Fuente: SENAMHI – PISCO (2020).

4.4.2. Zonas de vida

De acuerdo a INRENA (1995) el área de estudio comprende cuatro zonas de vida; las mismas se pueden apreciar en la Figura 50, Anexo A:

- a. **Estepa espinosa montano bajo tropical (ee-MBT);** con biotemperatura media máxima anual de 18.2 °C y con una media anual mínima de 12.1 °C., promedio máximo de precipitación total por año es de 522.4 mm y el promedio mínimo de 231.3 mm. Conforman, 2354.47 ha que es el 69.41 % del área de estudio. Con una topografía de ligeramente inclinada a moderadamente empinada con áreas de mayor cambio antropogénico como cultivos transitorios y permanentes donde la concentración poblacional es muy alta.

Presentan una fisonomía dominante semiárida que se cubre de vegetación durante los meses de lluvias veraniegas de una vegetación estacional que es aprovechada para el pastoreo de ganado extensivo.

- b. **Estepa montano tropical (e-MT);** con biotemperatura máxima media anual de 14.1 °C y una mínima media anual de 9.5 °C. Promedio máximo de precipitación total por año 541.8 mm y el promedio mínimo de 244.5 mm. Conforman, 812.09 ha que es el 23.94 % del área de estudio, que está cubierta principalmente de pastos y bosques naturales e intervenidos por las actividades humanas. Con una topografía de moderadamente empinada a empinada.

La vegetación natural es dominante por la familia de las gramíneas, entre las que destacan los géneros *Poa*, *Stipa*, *Festuca*, *Calamagrostis* y *Eragrostis*.

- c. **Bosque húmedo montano tropical (bh-MT)**; con biotemperatura media máxima anual de 13.1 °C y con una media anual mínima de 7.3 °C. Precipitación total media anual máxima 1154 mm y el promedio mínimo 498 mm. Con una topografía de empinada a muy empinada. Con cubierta vegetal que comprende especies arbustivas y herbáceas adaptadas a las condiciones frías. Conforman, 219.50 ha que es el 6.47 % del área de estudio.

La vegetación natural está constituida por pequeños relictos o bosques residuales homogéneos como el quinal (*Polylepis Ruiz & Pav.*) y pequeños bosques heterogéneos constituidos por especies de los géneros *Gynoxis*, *Polylepis*, *Berberis*, *Eugenia*, *Senecio*, *Podocarpus*, *Baccharis*, *Oreopanax*, *Solanum*.

- d. **Páramo pluvial subalpino tropical (pp-SaT)**; parte de la cabecera del área de estudio. Con biotemperatura media anual de 3 °C a 6° C. Promedio máximo de precipitación total anual de 1819 mm y promedio mínimo de 1754 mm. Conforman 6.18 ha o 0.18 % del área de estudio, está cubierta por roca y glaciación. Con una topografía de moderadamente empinada a muy empinada.

4.4.3. Geología

De acuerdo al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET] (2017), la geología del área de estudio a escala 1:50000 es:

Tabla 12*Unidades geológicas del área de estudio*

Grupo	Unidad	Litología	Descripción	Edad	Ambiente
Goyllarisquizga - Formación Santa	Ki-s3	Caliza mudstone, limo arcilla, lutita	Calizas mudstone gris oscuras, intercaladas con limo arcillitas pardo amarillentas y lutitas pardo rojizas, presenta fósiles mal conservados, conforman un espesor promedio de 1000 m.		Continental
Goyllarisquizga - Formación Carhuaz	Ki-ca3	Arenisca, limolita, lutita	Areniscas grises de grano fino a medio, intercaladas con limolitas y lutitas pardo rojizas, presencia de nódulos ferruginosos, conforman un espesor aproximado de 250 m.	Cretácico inferior	Sublitoral
Goyllarisquizga - Formación Chimú	Ki-chi3	Arenisca, cuarzosa, lutita	Areniscas cuarzosas blanquecinas a grises de grano fino a medio intercaladas con lutitas de color rojizo, conforman un espesor aproximado de 750 m.		Continental
Depósito aluvial	Qh-al	Limo, arena, bloques	Acumulaciones de limos, arenas y cantos redondeados de composición polimíctica, depositados en terrazas recientes. Conforman un espesor aproximado de 20 - 70 m.	Cuaternario holoceno	Continental (aluvial)
Secuencia volcánica Yungay	Nm-yu	Toba vítrea, toba cristalina	Depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, color gris blanquecino, textura porfirítico, rico en cristales, predominan las plagioclasas, presentan fragmentos líticos polimícticos, conforman un espesor aproximado de 150 m. Edad aproximada 6 – 8 Ma.	Neógeno mioceno	Volcánico
Formación Lloclla - Miembro 1	Np-II/1	Conglomerado	Depósitos de conglomerados de color pardo rojizo, con clastos predominantemente de rocas intrusivas, conforman un espesor aproximado de 80 - 100 m.	Neógeno plioceno	Continental

Depósito glaciar, fluvial	Qh-glfl	Bloques	Acumulaciones de cantos y bloques angulosos, de composición monomíctica, de intrusivos, conforman un espesor aproximado de 5 - 10 m		Continental (fluvio glaciar)
Depósito glaciar	Qh-gl	Bloques, limo	Acumulaciones de cantos y bloques sub angulosos a angulosos, fragmentos de intrusivos, consolidados en una matriz limosa. conforman un espesor de 25 - 100 m	Cuaternario holoceno	Continental (glaciar)
Depósito aluvial	Qh-al	Limo, arena, bloques	Acumulaciones de limos, arenas y cantos redondeados de composición polimíctica, depositados en terrazas recientes. Conforman un espesor aproximado de 20 - 70 m.		Continental (aluvial)
Batolito Cordillera Blanca	Nm-bcb0-gd, tn	Granodiorita, tonalita	Roca leucócrata de grano medio a grueso granular. Presenta cristales de feldspatos potásico, plagioclasas cuarzo y biotitas. Edad aproximada de 8 a 14 Ma.	Neógeno mioceno	Plutónico
Alteración Casquete glaciar (zona nival)	ah				Hidrotermal

4.4.4. Litología

De acuerdo a ONERN (1973), el área de estudio a escala 1/50000 comprende cuatro tipos de litologías; las mismas pueden apreciarse en la Figura 51, Anexo A:

- **Depósitos aluvionales y aluvio coluviales locales (Ac):** constituidos por limos, arcillas, arenas y elementos groseros como cantos rodados, gravas y piedras de formas subangulares de origen aluvial; cuarcitas, andesitas, granitos, calizas, lutitas y otros.
- **Depósitos fluvio glaciales (Fga):** son depósitos fluvio glaciales con baja proporción de sedimentos aluvionales constituidos por limos, arcillas, arenas y materiales groseros como piedras y gravas de formas subangulares de origen granítico y de cuarcita.
- **CRg:** depósitos coluviales y formaciones líticas derivadas de cuarcitas principalmente interasociadas con material sedimentario calcáreo (calizas) y andesitas.
- **Rgr:** presenta formaciones líticas que está integrado de granito principalmente.

4.4.5. Capacidad de uso de tierras

De acuerdo a ONERN (1973), la capacidad de uso de tierras del área de estudio comprende los siguientes usos; las mismas que pueden apreciarse en la Figura 52, Anexo A:

Tabla 13

Capacidad de uso de tierras - USDA

Grupo de tierras	Clases	Características generales	Cultivos recomendables
Tierras arables aptas para cultivos intensivos y otros usos (agricultura diversificada).	II	Suelos de fertilidad media, profundos de topografía ligeramente inclinada, drenaje bueno o moderado y erosión hídrica ligera.	Maíz, papa, zapallo, calabaza, alfalfa, frutales (preferentemente de hojas caducas), hortalizas. Eventual trigo, cebada, arveja, habas y pastos cultivados.
	III	Suelos de fertilidad baja a media, superficiales con o sin gravas internas a profundas; de topografía ligeramente inclinada a inclinada, drenaje bueno a excesivo, cuenta con limitaciones de clima. Erosión hídrica ligera.	
	IV	Suelos de fertilidad baja a media, superficiales con gravas internas a profundas de topografía, inclinada a moderadamente empinada, drenaje bueno a moderado, tiene limitaciones de clima. Erosión hídrica moderada.	
Tierras no arables aptas solo para cultivos permanentes (frutales, pastos y forestales).	VI	Suelos de fertilidad baja a media superficiales o profundos, gravosos o gravo pedregosos, de topografía ligeramente inclinada o inclinada o moderadamente empinada a empinada, drenaje pobre o excesivo; teniendo limitaciones de clima los suelos. Erosión hídrica moderada a severa.	Frutales (preferentemente de hojas caducas) en sectores abrigados, pastos permanentes cultivados y forestales.
Tierras marginales para agricultura (aptas exclusivamente para pastoreo y forestales).	VII	Suelos de fertilidad baja a media gravosos o gravo pedregosos, superficiales o moderadamente profundos, topografía ligeramente inclinada a muy empinada, drenaje bueno o excesivo. Erosión hídrica severa.	Pastos naturales y forestales.
Tierras no aptas para fines agropecuarios ni explotación forestal.	VIII	Tierras muy escarpadas con formaciones líticas de naturaleza variable extremadamente erosionadas, incluyendo tierras misceláneas en general. Lagunas, ríos y tierras urbanas.	Vida silvestre y/o protección.

4.5. Alud de 1970

De acuerdo a INGEMMET (2020), el alud del domingo 31 de mayo de 1970 fue provocado por el peligro geológico de movimiento en masa originado desde el pico norte del nevado Huascarán.

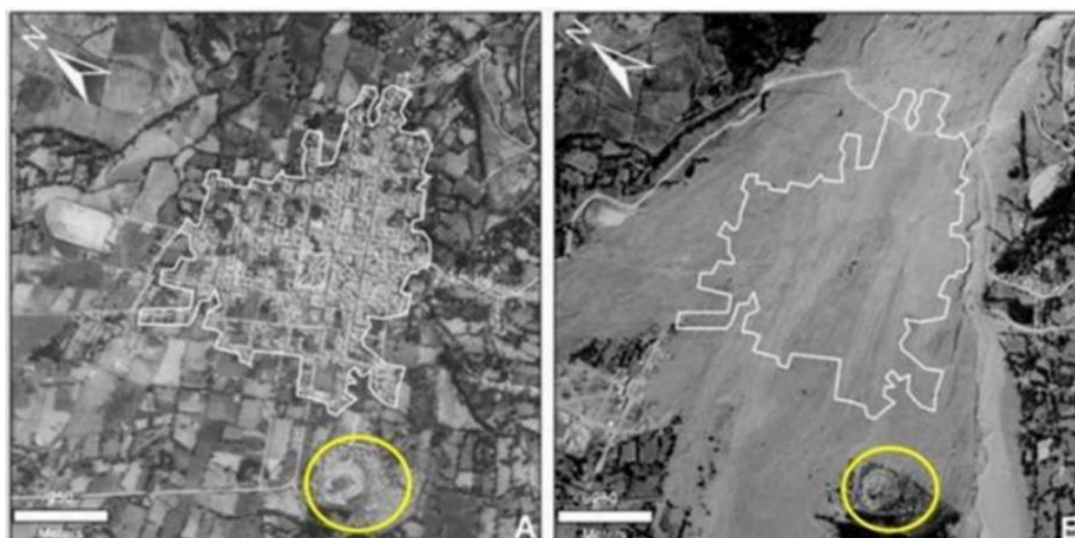
El epicentro del terremoto que causó el desastre fue en el mar peruano a una distancia de 130 km de la ciudad de Chimbote, con magnitud de 7.9 grados en la escala de Richter y una intensidad de VIII en la escala de Mercalli (INGEMMET, 2020).

Las ondas sísmicas originaron en la cara oeste del pico norte del nevado Huascarán la caída de rocas y hielo glacial. El movimiento de masa ocasionó la incorporación de grandes volúmenes de material morrénico y glacial que alcanzó velocidades medias de 50 a 85 m/s en 1970 (Stephen *et al.*, 2009).

El flujo de detritos originados, recorrió 160 km hasta el mar, afectando a su paso infraestructura vial y férrea como: el puente Chaquecocha, el aeropuerto de Caraz, la hidroeléctrica del Cañón del Pato, entre otros. El número de fallecidos se estima que fueron al menos 70000 personas los que perdieron la vida ese domingo 31 de mayo de 1970.

Figura 15

Antes y después del alud de 1970 de la ciudad de Yungay.



Nota. La figura muestra la ciudad de Yungay y anexos; antes (Figura A) y después (Figura B) del alud de 1970 (movimiento en masa de material morrénico y glacial) y cambios de usos de la tierra. Fuente: ABC Noticias (2020).

Figura 16

Depósito de flujo de detritos del alud de 1970



Nota. La figura muestra la ciudad de Yungay y Ranrahirca después del alud de 1970, así mismo el área de influencia del alud y el cementerio de la ciudad de Yungay. Fuente: Fuerza Aérea de los Estados Unidos-EXITOSA (2020).

4.6. Coberturas y usos de la tierra 1970 – 2020

A partir del análisis de las imágenes satelitales y ortofotos del Google Earth, se determinaron 12 subcategorías de coberturas, de acuerdo a la clasificación CLC adaptada para Perú y fue clasificada hasta la categoría III como se observa a continuación.

Tabla 14

Categorías de coberturas del área de influencia del alud de 1970 - 2020.

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Código
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo / discontinuo	AUrbCD
		1.1.2 Área histórico urbano	AHU
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		CT
	2.2 Cultivos permanentes		CP
	3.1 Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo	BDB
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.2 Bosques plantados		BP
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Vegetación arbustiva/ herbácea abierta	VAHA
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1 Afloramientos rocosos	AR
		3.4.2 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas y sepultadas)	TD
		3.4.3 Glaciares o hielo	G
4. Áreas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	VAC
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos o cuerpos de agua	CA

A continuación, se describen las categorías de coberturas del área de estudio:

1. Áreas artificializadas

a. Áreas urbanizadas

Las áreas urbanizadas del área de estudio constituyen espacios de infraestructura urbana o ciudades, áreas verdes asociadas y redes de comunicación (red vial), que permiten el tejido urbano continuo y discontinuo.

- Tejido urbano continuo / discontinuo

El tejido urbano continuo consistió en infraestructuras, redes de comunicación (carreteras) y superficies artificiales que cubrieron más del 80 %. Mientras tanto el tejido urbano discontinuo, estuvo conformado por espacios asociados a la cobertura vegetal, como las calles con especies arbóreas, arbustivas y herbáceas; en esta categoría se encontraron los parques, jardines y zonas en proceso de urbanización.

Figura 17

Áreas urbanizadas: tejido urbano continuo / discontinuo.



Nota. En la parte inferior de la imagen delimitada, muestra áreas urbanizadas de tipo continuo y discontinuo (28 de febrero de 2021).

b. Área histórico urbano

En el estudio se reconoció área histórico urbano como la ciudad de Yungay, sepultada a través del alud de 1970 y el cementerio de la ciudad de Yungay. Estas áreas fueron consideradas como espacios de hechos históricos con memorias y atributos culturales; estas abarcan contexto urbano y su entorno geográfico como infraestructuras, espacios abiertos y jardines.

Figura 18

Área histórico urbano.



Nota. La figura en la parte inferior delimitada muestra, área histórico urbano del cementerio y la ciudad de Yungay sepultada por el alud de 1970 (28 de febrero de 2021).

2. Áreas agrícolas

En el área de estudio se encontraron cultivos con período vegetativo (formación o crecimiento de las plantas) mayor a 2 años, así como los cultivos de período vegetativo menor a 2 años y las tierras cubiertas con hierba densa “pastos”.

a. Cultivos transitorios

Entre los cultivos transitorios de ciclo vegetativo de hasta 2 años, encontrados en el área de estudio (Tabla 23, Anexo B). Así mismo, se consideró las áreas de pastos cultivados, áreas en descanso o barbecho y en rotación.

Figura 19

Especies de cultivo transitorio.



Nota. La figura en la parte inferior muestra especies de cultivo transitorio como la papa (*Solanum tuberosum L.*) y el maíz (*Zea mays (L.) Sp. Pl*) del centro poblado de Llacta-Yungay (28 de febrero de 2021).

b. Cultivos permanentes

En el estudio se consideró aquellos cultivos de ciclo vegetativo mayor a dos años, donde no existe rotación de cultivos y produce varias cosechas, sin necesidad de plantar nuevamente; entre los cultivos permanentes encontradas en el área de estudio son (tabla 24 en el anexo B).

Figura 20

Cultivo permanente de duraznero.



Nota. La figura muestra especies de cultivo permanente de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) en la parte superior media de la imagen y en el parte inferior izquierdo muestra los bosques plantados como el eucalipto (*Eucaliptus globulus* Labill) tomada desde la parte suroeste del centro poblado de Aira - Yungay (28 de febrero de 2021).

3. Bosques y áreas mayormente naturales

a. Bosque

1. Bosque denso bajo

Se consideró cobertura vegetal de estructura baja a mediana, entre las especies identificadas son (tabla 25 en el anexo B).

Figura 21

Especies de bosque denso bajo.



Nota. La figura muestra especies de bosque denso bajo como el aliso o ramrash (*Alnus acuminata* Kunth) tomada desde la parte suroeste del centro poblado de Shillcop - Yungay (28 de febrero de 2021).

2. Bosques plantados

Se halló coberturas o plantaciones arbóreas con fines forestales y/o manejo forestal como el capulí (*Prunus serótina* Ehrhart) y el eucalipto (*Eucaliptus globulus* Labill).

Figura 22

Coberturas de la tierra, bosques plantados.



Nota. La figura muestra especies de cultivo transitorio como el maíz (*Zea mays (L.) Sp. Pl*) en la parte inferior y bosques plantados como el eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*) parte superior intermedia de la imagen, tomada desde la parte oeste del centro poblado de Ongó - Yungay (28 de febrero de 2021).

b. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo

- Vegetación arbustiva y herbácea abierta

En el reconocimiento del área de estudio se encontró áreas con cobertura herbácea y arbustiva dispersa (Tabla 26, Anexo B), desarrolladas en forma natural en diferentes sustratos y densidades.

c. Áreas sin o con poca vegetación

- Afloramientos rocosos

Se consideró aquellas áreas donde no existe cobertura vegetal o es escasa como son las tierras desnudas, tierras quemadas y afloramientos rocosos.

Figura 23

Afloramientos rocosos.



Nota. La figura muestra afloramientos rocosos tomada a partir de la ortofoto del Google Earth (28 de febrero de 2021).

- **Tierras desnudas, incluye áreas erosionadas y sepultadas**

Fue considerada como aquella área donde no existe cobertura vegetal o es escasa, en el área de estudio estuvo conformada por las tierras desnudas, quemadas, zonas de derrumbes y zonas sepultadas por el alud.

Figura 24

Tierras desnudas.



Nota. La figura muestra tierras desnudas por derrumbes, tomada a partir de la ortofoto del Google Earth (28 de febrero de 2021).

- **Glaciares o hielo**

Se consideró aquellas áreas con cobertura glaciar que se encuentra en la cabecera del área de estudio.

Figura 25

Masa glaciar del nevado Huascarán.



Nota. La figura muestra glaciar del área de estudio, tomada desde la parte suroeste del centro poblado de Arhuay – Ranranhirca (28 de febrero de 2021).

4. Áreas

- ✓ **Áreas húmedas continentales**
- **Vegetación acuática sobre cuerpos de agua**

Figura 26

Vegetación acuática sobre cuerpos de agua.



Nota. La figura muestra vegetación acuática sobre cuerpos de agua tomada a partir de la ortofoto del Google Earth (28 de febrero de 2021).

5. Superficies de agua

- ✓ Aguas continentales
- ✓ Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua, tomados en cuenta en el estudio fueron los ríos y ciénagas permanentes.

Figura 27

Cuerpos de agua.



Nota. La figura muestra cuerpos de agua en la parte inferior intermedia, tomada desde el puente Matacoto - Yungay (28 de febrero de 2021).

4.7. Categorías de cobertura y usos de la tierra - CORINE Land Cover

Los resultados fueron concordantes con la leyenda del mapa de coberturas y usos de la tierra del área de influencia del alud de 1970, donde se empleó sistema CLC adoptada por MINAM; a continuación, se detallan las categorías de cobertura del área de estudio.

4.7.1. Usos de la tierra año 1970

Las categorías de coberturas para el año 1970 fueron:

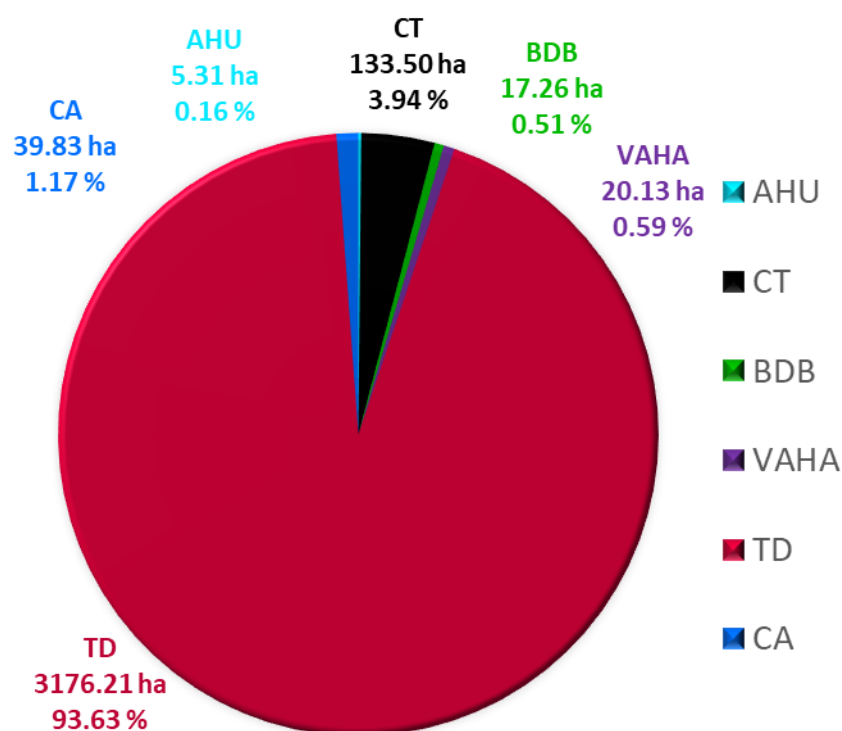
Tabla 15*Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 1970.*

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.2 Área histórico urbano	AHU	5.31	0.16
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		CT	133.50	3.94
	3.1 Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo	BDB	17.26	0.51
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Vegetación arbustiva/ herbácea abierta	VAHA	20.13	0.59
		3.4.2 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas y sepultadas)	TD	3 176.21	93.63
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos o cuerpos de agua	CA	39.83	1.17
Total				3392.24	100.00

A través de la clasificación visual se obtuvo 6 categorías de uso, las áreas de mayor proporción fueron las tierras desnudas con 3176.21 ha (93.63 %) que representan áreas sepultadas o destruidas por el alud de 1970; mientras, el área histórico urbano fue la categoría de menor proporción con 5.31 ha o 0.16 % del área total.

Figura 28

Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 1970.



4.7.2. Usos de la tierra año 2000

Para el año 2000, se clasificó 12 categorías de uso, siendo las áreas de cultivos transitorios de 1181.76 ha que representa el 34.84 % categoría de mayor proporción; mientras las áreas de tierras desnudas fueron 5.69 ha o 0.17 % categoría de menor proporción.

A través del análisis de ortofotos del Google Earth e imágenes de satélite, para el año 2000, se encontró las siguientes categorías de uso.

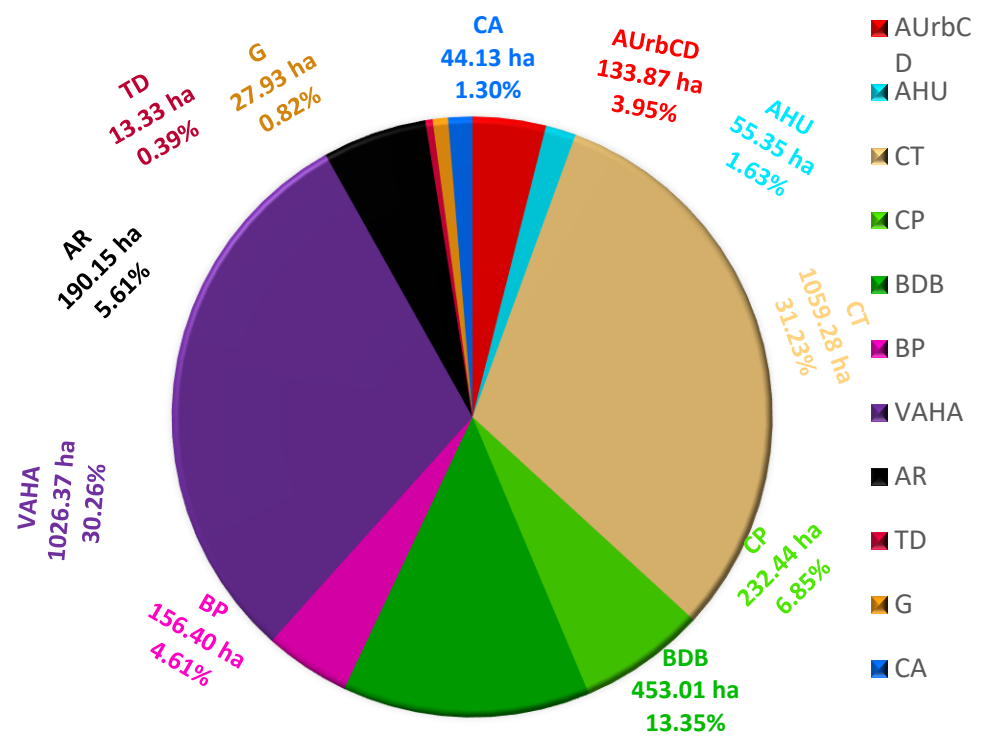
Tabla 16

Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2000.

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo / discontinuo	AUrbCD	84.53	2.49
		1.1.2 Área histórico urbano	AHU	63.12	1.86
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		CT	1181.76	34.84
	2.2 Cultivos permanentes		CP	62.13	1.83
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo	BDB	623.07	18.37
		3.2 Bosques plantados	BP	48.28	1.42
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Vegetación arbustiva/ herbácea abierta	VAHA	1037.68	30.59
		3.4.1 Afloramientos rocosos	AR	114.06	3.36
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas naturales y sepultadas)	TD	5.69	0.17
		3.4.3 Glaciares o hielo	G	115.65	3.41
4. Áreas continentales	4.1 Áreas húmedas	4.1.1 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	VAC	9.17	0.27
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos o cuerpos de agua	CA	47.10	1.39
Total				3392.24	100

Figura 29

Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2000.



4.7.3. Usos de la tierra año 2013

Para el año 2013 se clasificó 11 categorías de uso, siendo las áreas de cultivos transitorios 1317.05 ha que representa el 38.83 % categoría de mayor proporción que creció en comparación al año 2000; mientras las áreas de tierras desnudas fueron 7.46 ha o 0.22 % categoría de menor proporción que aumentó también en comparación al año 2000 en 1.24 ha.

A través del análisis de las imágenes satelitales L8 para el año 2013 se encontró las siguientes categorías.

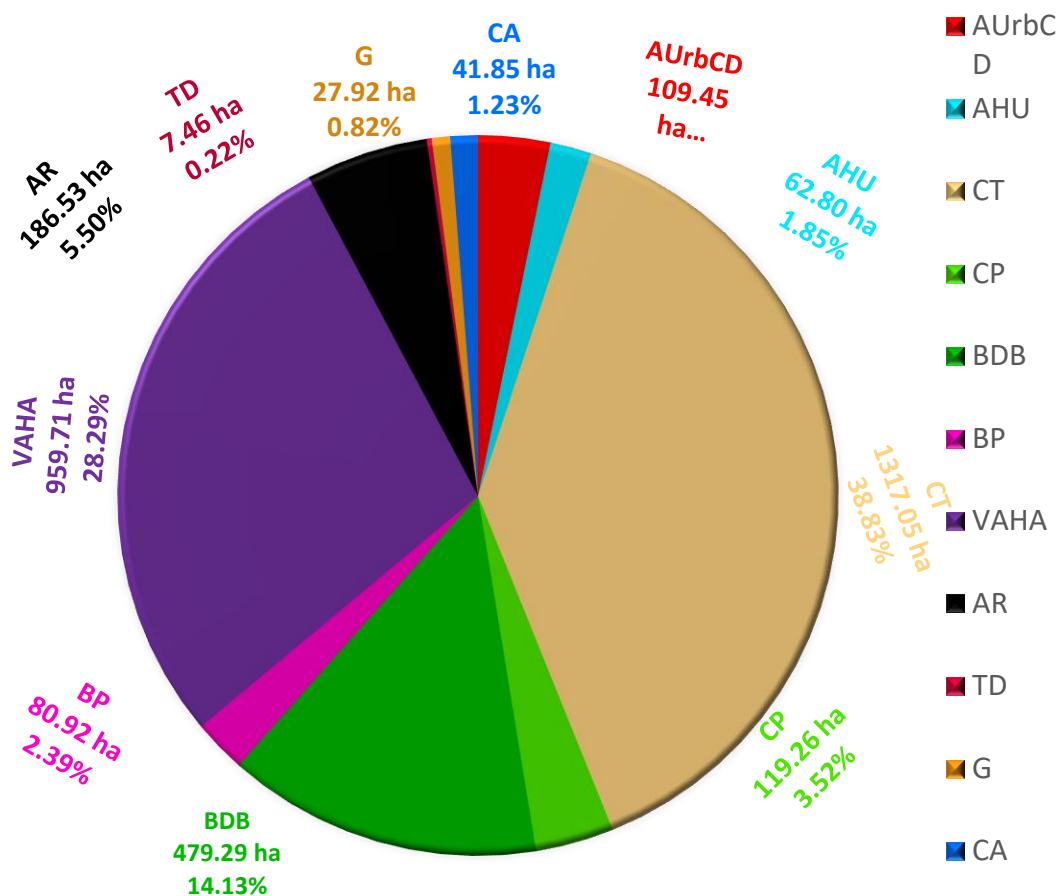
Tabla 17

Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2013.

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo / discontinuo	AUrbCD	109.45	3.23
		1.1.2 Área histórico urbano	AHU	62.80	1.85
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		CT	1317.05	38.83
	2.2 Cultivos permanentes		CP	119.26	3.52
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo	BDB	479.29	14.13
	3.2 Bosques plantados		BP	80.92	2.39
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Vegetación arbustiva/ herbácea abierta	VAHA	959.71	28.29
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1 Afloramientos rocosos	AR	186.53	5.50
		3.4.2 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas y sepultadas)		7.46	0.22
		3.4.3 Glaciares o hielo	G	27.92	0.82
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos o cuerpos de agua	CA	41.85	1.23
Total				3392.24	100

Figura 30

Categorías de cobertura y uso de la tierra año 2013.



4.7.4. Usos de la tierra año 2020

Para el año 2020, se clasificó 11 categorías de uso, siendo las áreas de cultivos transitorios 1059.28 ha que representa el 31.23 %, categoría de mayor proporción que disminuye en comparación al año 2013, mientras las tierras desnudas fueron 13.33 ha o 0.39 % categoría de menor proporción que aumentó a comparación del año 2013 en 5.87 ha.

En este período de análisis se empleó imágenes S2A y se encontró las siguientes categorías:

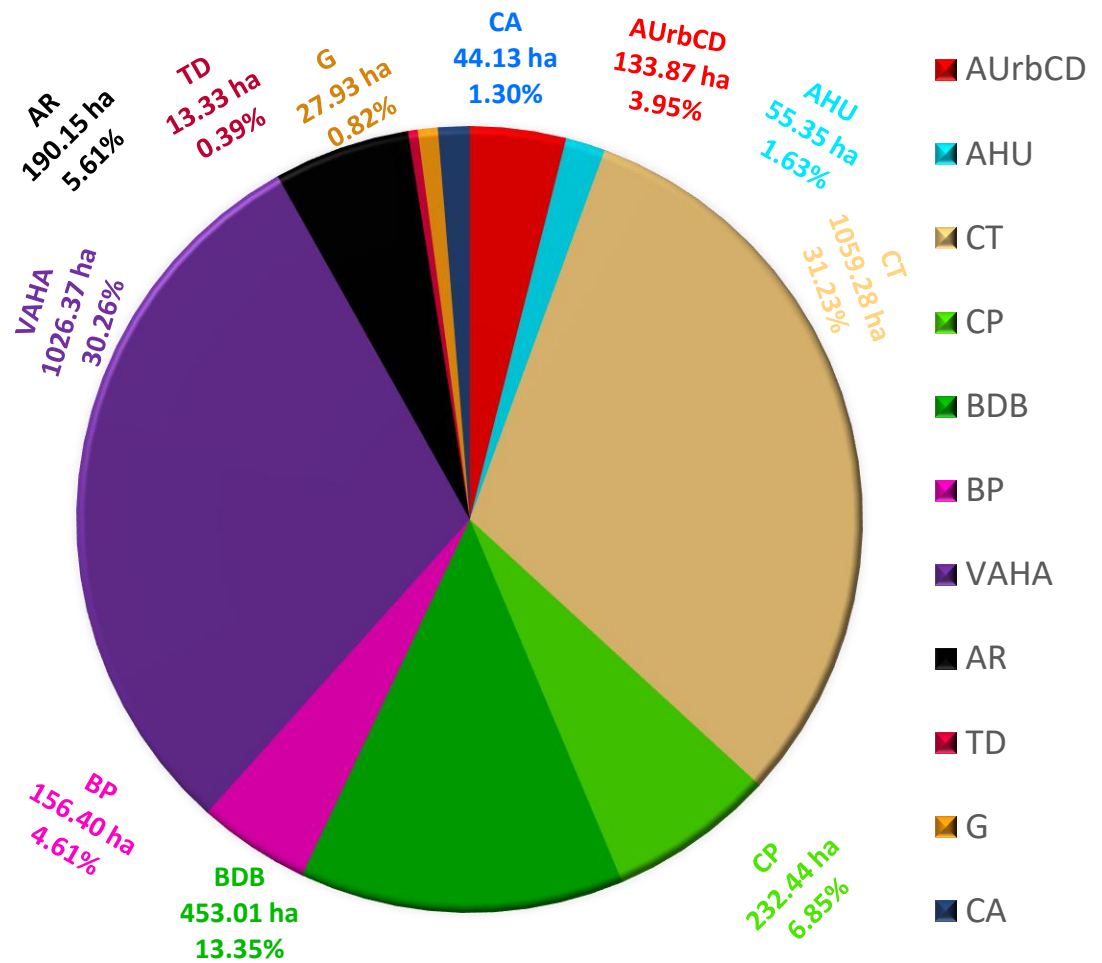
Tabla 18

Categorías de cobertura y usos de la tierra del año 2020.

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Código	Área (ha)	Área (%)
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo / discontinuo	AUrbCD	133.87	3.95
		1.1.2 Área histórico urbano	AHU	55.35	1.63
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		CT	1059.28	31.23
	2.2 Cultivos permanentes		CP	232.44	6.85
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo	BDB	453.01	13.35
	3.2 Bosques plantados		BP	156.40	4.61
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Vegetación arbustiva/ herbácea abierta	VAHA	1026.37	30.26
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1 Afloramientos rocosos	AR	190.15	5.61
		3.4.2 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas y sepultadas)	TD	13.33	0.39
		3.4.3 Glaciares o hielo	G	27.93	0.82
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos o cuerpos de agua	CA	44.13	1.30
Total				3392.24	100

Figura 31

Categorías de cobertura y uso de la tierra año 2020.



4.8. Análisis de Cambio y usos de la tierra 1970 – 2020

Los resultados del análisis se presentan en la matriz de cambios de uso de la tierra, donde las columnas y filas corresponden a las clases de coberturas de los períodos de análisis. Y la intersección de coberturas idénticas, representan las coberturas sin cambio entre los períodos de análisis.

A través de la evaluación de las imágenes satelitales y ortofotos del Google Earth, se determinaron cambios y usos de la tierra de los años 1970 a 2000, como se muestra a continuación.

Tabla 19

Matriz de cambios de usos de la tierra del año 1970 – 2000

		Año 2000													
		AUrbCD	AHU	CT	CP	BDB	BP	VAHA	AR	TD	G	VAC	CA	TOTAL	%
Año 1970	AHU	0.06	5.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.31	0.16
	CT	11.79	0.00	103.30	5.23	10.23	2.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	133.50	3.94
	BDB	0.79	0.09	6.02	0.05	8.93	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.26	0.51
	VAHA	0.07	0.00	7.50	0.00	10.25	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.13	0.59
	TD	71.82	57.77	1063.94	56.85	593.05	41.63	1036.76	114.06	5.69	115.65	9.17	9.81	3176.21	93.63
	CA	0.00	0.00	1.00	0.00	0.62	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	37.29	39.83	1.17
	TOTAL	84.53	63.12	1181.76	62.13	623.07	48.28	1037.68	114.06	5.69	115.65	9.17	47.10	3392.24	100
%	2.49	1.86	34.84	1.83	18.37	1.42	30.59	3.36	0.17	3.41	0.27	1.39	100.00		

De acuerdo a la matriz (Tabla 19), las clases de mayor cambio fueron las tierras desnudas a cultivos transitorios y VAHA con un total de 1063.94 ha y 1036.76 ha que representan 33.5 % y 32.64 % del total de tierras desnudas y del área total en estudio representan 31.36 % y 30.56 %.

Entre las coberturas sin cambio en mayor proporción fueron los cultivos transitorios 103.30 ha que representan 77.38 % del total de los cultivos transitorios y del área en estudio representan 3.05 % sin cambio alguno.

Para el año 1970, las TD fueron 3176.21 ha o 93.63 % y para el año 2000 la cobertura de mayor dimensión fueron los cultivos transitorios 1181.76 ha que configuran el 34.84 % del área total.

Las coberturas de menor dimensión para el año 1970 y 2000 fueron las TD y AHU con 5.69 ha y 5.31 ha que representan 0.17 % y 0.16 %.

Entre las clases analizadas para el año 1970 fueron 6 y para el año 2000 aumentaron a 12 clases, después de la restauración de las áreas del alud del domingo 31 de mayo de 1970.

Tabla 20

Matriz de cambios de usos de la tierra del año 2000 – 2013.

		Año 2013												
		AUrbCD	AHU	CT	CP	BDB	BP	VAHA	AR	TD	G	CA	TOTAL	%
Año 2000	AUrbCD	69.89	0.66	12.14	1.57	0.12	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	84.53	2.49
	AHU	0.93	59.10	2.26	0.77	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.12	1.86
	CT	36.41	0.35	1013.12	61.99	54.80	7.68	4.87	0.00	0.43	0.00	2.11	1181.76	34.84
	CP	1.38	0.23	18.95	40.23	1.32	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.13	1.83
	BDB	0.52	2.46	166.98	13.39	379.60	29.22	28.87	0.00	0.83	0.00	1.19	623.07	18.37
	BP	0.17	0.00	6.82	0.29	0.99	39.70	0.19	0.00	0.00	0.00	0.12	48.28	1.42
	VAHA	0.12	0.00	89.55	0.15	35.09	3.94	884.80	22.57	1.12	0.00	0.35	1037.68	30.59
	AR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.82	76.24	0.00	0.00	0.00	114.06	3.36
	TD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	3.01	0.00	2.67	0.00	0.00	5.69	0.17
	G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.73	0.00	27.92	0.00	115.65	3.41
	VAC	0.00	0.00	5.70	0.85	2.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.17	0.27
	CA	0.05	0.00	1.53	0.02	4.70	0.24	0.15	0.00	2.41	0.00	38.01	47.10	1.39
	TOTAL	109.45	62.80	1317.05	119.26	479.29	80.92	959.71	186.53	7.46	27.92	41.85	3392.24	100.00
%	3.23	1.85	38.83	3.52	14.13	2.39	28.29	5.50	0.22	0.82	1.23	100.00		

La matriz (Tabla 20), muestra las clases que presentaron mayor cambio como BDB a CT y las áreas de los glaciares (G) a AR, con un total de 166.98 ha y 87.73 ha que representan 26.80 % y 75.86 % del total de BDB y glaciares, del área total en estudio representan 4.92 % y 2.59 %.

Entre las coberturas sin cambio en mayor proporción fueron los CT con 1013.12 ha que representan 85.73 % del total de cultivos transitorios y del área en estudio representan 29.87 % sin cambio alguno.

Para el año 2000 los CT fueron 1181.76 ha que representaron el 34.84 % y para el año 2013 la cobertura de mayor dimensión, también fueron los cultivos transitorios 1317.05 ha que configuran el 38.83 % del área total.

Las coberturas de menor dimensión para el año 2000 y 2013 fueron las tierras desnudas con 5.69 ha y 7.46 ha que representan 0.17 % y 0.22 %.

Entre las clases analizadas para el año 2000 fueron 12 y para el año 2013 disminuyeron a 11 por la pérdida de VAC.

Tabla 21

Matriz de cambios de usos de la tierra del año 2013 – 2020.

	Año 2020													
	AUrbCD	AHU	CT	CP	BDB	BP	VAHA	AR	TD	G	CA	TOTAL	%	
Año 2013	AUrbCD	102.36	0.21	5.65	1.01	0.11	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	109.45	3.23
	AHU	5.41	52.68	4.50	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.80	1.85
	CT	23.65	2.21	959.72	121.83	47.71	13.78	148.15	0.00	0.00	0.001	0.00	1317.05	38.83
	CP	1.96	0.01	29.39	86.91	0.78	0.00	0.20	0.0006	0.00	0.00	0.00	119.26	3.52
	BDB	0.32	0.22	28.22	19.59	382.30	23.84	22.69	0.01	0.04	0.00	2.05	479.29	14.13
	BP	0.18	0.03	4.92	0.17	3.61	70.63	1.31	0.03	0.00	0.00	0.06	80.92	2.39
	VAHA	0.00	0.00	26.84	2.29	17.95	48.07	853.48	3.58	6.95	0.00	0.55	959.71	28.29
	AR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	186.53	0.00	0.00	0.00	186.53	5.50
	TD	0.00	0.00	0.01	0.41	0.35	0.00	0.51	0.00	6.19	0.00	0.00	7.46	0.22
	G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.92	0.00	27.92	0.82
	CA	0.00	0.00	0.05	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	41.46	41.85	1.23
	TOTAL	133.87	55.35	1059.28	232.44	453.01	156.40	1026.37	190.15	13.33	27.93	44.13	3392.24	100.00
	%	3.95	1.63	31.23	6.85	13.35	4.61	30.26	5.61	0.39	0.82	1.30	100.00	

La Tabla 21 muestra la matriz de cambios de usos de la tierra para los años 2013 y 2020, las clases que presentaron mayor cambio fueron los VAHA y CP con un total de 148.15 ha y 121.83 ha que representan 11.25 % y 9.25 % del total de los CT y del área total en estudio representan 4.37 % y 3.59 %.

Entre las coberturas sin cambio en mayor proporción fueron los CT con 959.72 ha que representan 72.87 % del total de CT y del área en estudio representan 28.29 % sin cambio alguno.

Para el año 2013 los CT fueron 1317.05 ha que representan 38.83 % y para el año 2020 la cobertura de mayor dimensión fue VAHA, con 1026.37 ha que configuran 30.26 % del área total.

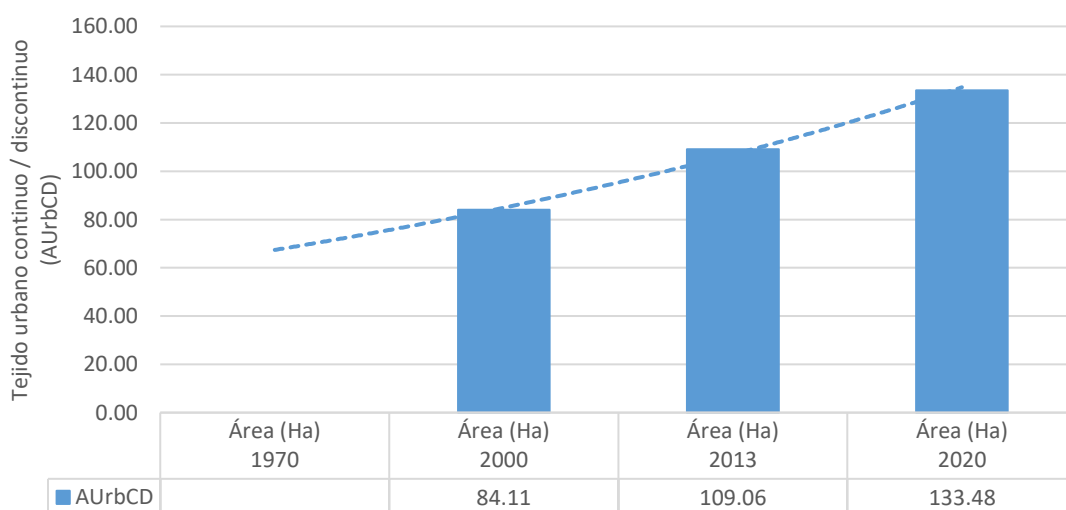
Las coberturas de menor dimensión para el año 2013 y 2020 fueron las TD con 7.46 ha y 13.33 ha que representan 0.22 % y 0.39 % y las clases analizadas para el año 2000 y 2020 fueron 11.

4.9. Cambio de usos de la tierra 1970 - 2020

A continuación, se detallan los cambios de las coberturas de la tierra del área de influencia del alud de 1970 comprendida entre 1970 a 2020 en un período de 50 años.

Figura 32

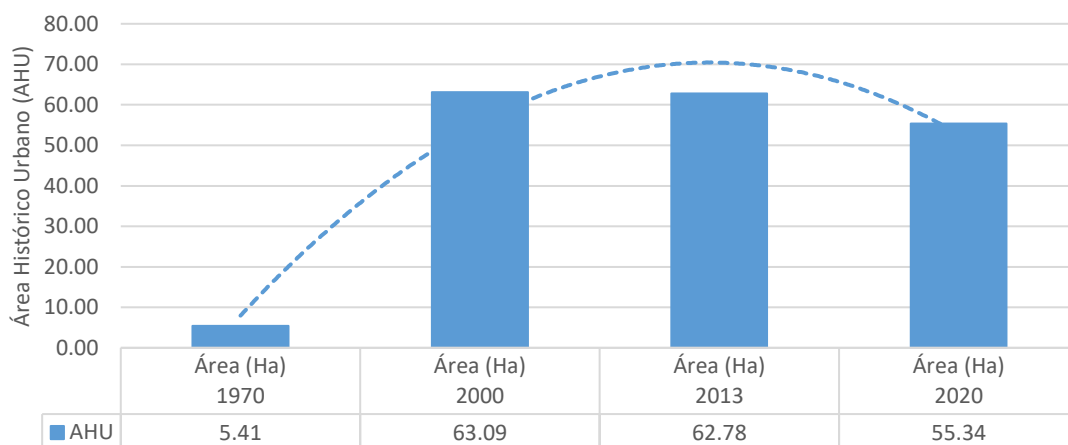
Cambio de usos de la tierra: tejido urbano continuo y discontinuo (AUrbCD) 1970 - 2020.



Nota. El tejido urbano continuo y discontinuo creció a través del tiempo. Para el año 1970 las áreas urbanas quedaron sepultadas y actualmente se viene ganando espacio a partir de la transformación de cultivos permanentes, transitorios y bosque denso bajo.

Figura 33

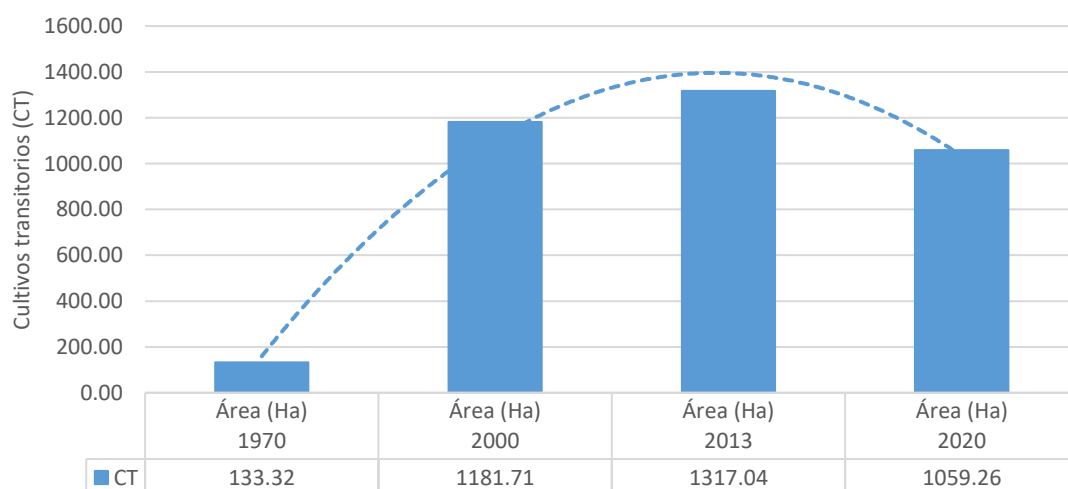
Cambios de usos de la tierra, área histórico urbano (AHU) 1970-2020.



Nota. Las AHU para el año 1970 fueron 5.31 ha y posterior al alud de 1970 aumentó hasta 63.12 ha y luego se redujo a 55.35 ha en 2020 debido a las diferentes cambios o intervenciones antropogénicas como: áreas urbanizadas, cultivos transitorios y permanentes.

Figura 34

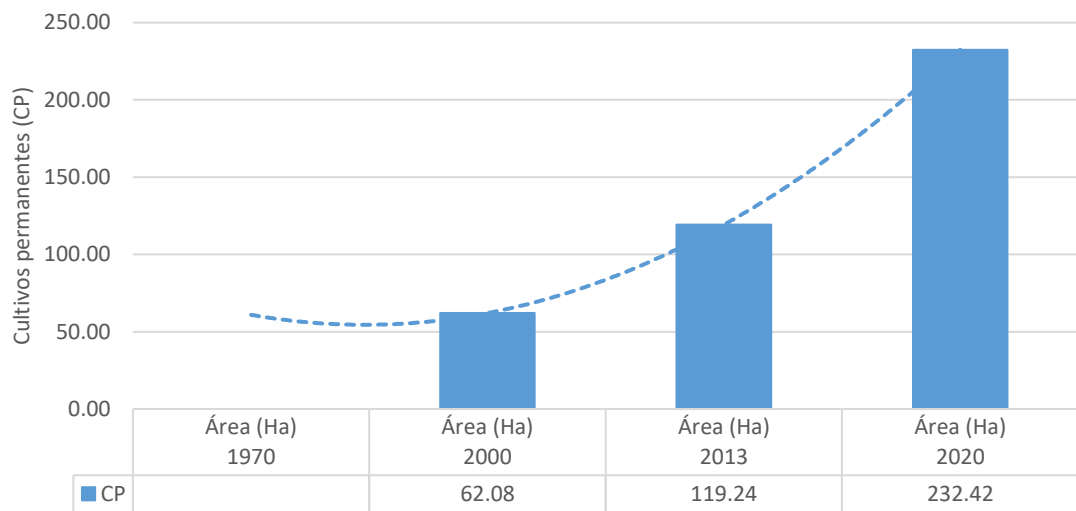
Cambio de uso de la tierra, cultivos transitorios (CT) 1970-2020.



Nota. Los CP aumentaron de 1970 a 2020 en 232.44 ha, así mismo estos cultivos ganaron espacio a partir de la transformación de los CT y BDB.

Figura 35

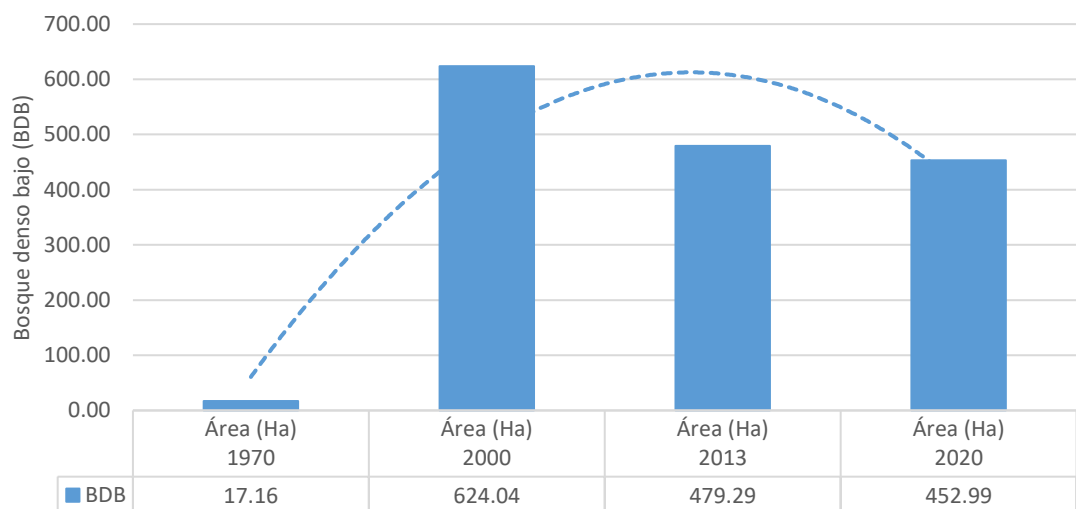
Cambio de usos de la tierra, cultivos permanentes (CP) 1970-2020.



Nota. Los CP aumentaron de 1970 a 2020 en 232.44 ha, así mismo estos cultivos ganaron espacio a partir de la transformación de los CT y BDB.

Figura 36

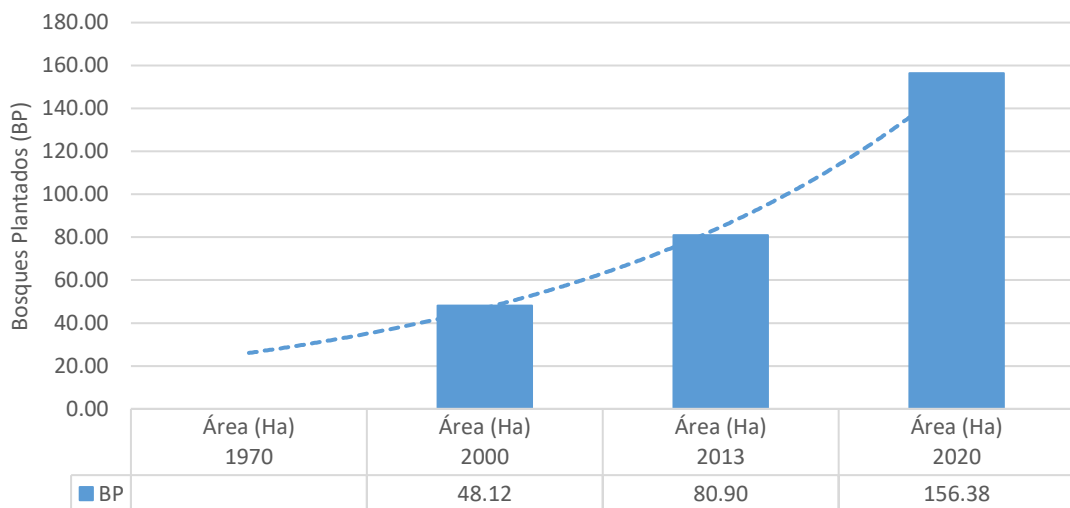
Cambio de uso de la tierra, bosque denso bajo (BDB) 1970-2020.



Nota. El área de BDB tiende a crecer hasta el año 2000 y posteriormente disminuyó hasta 453.01 ha en 2020, gran parte de esta cobertura ha sido transformada a cultivos transitorios y permanentes.

Figura 37

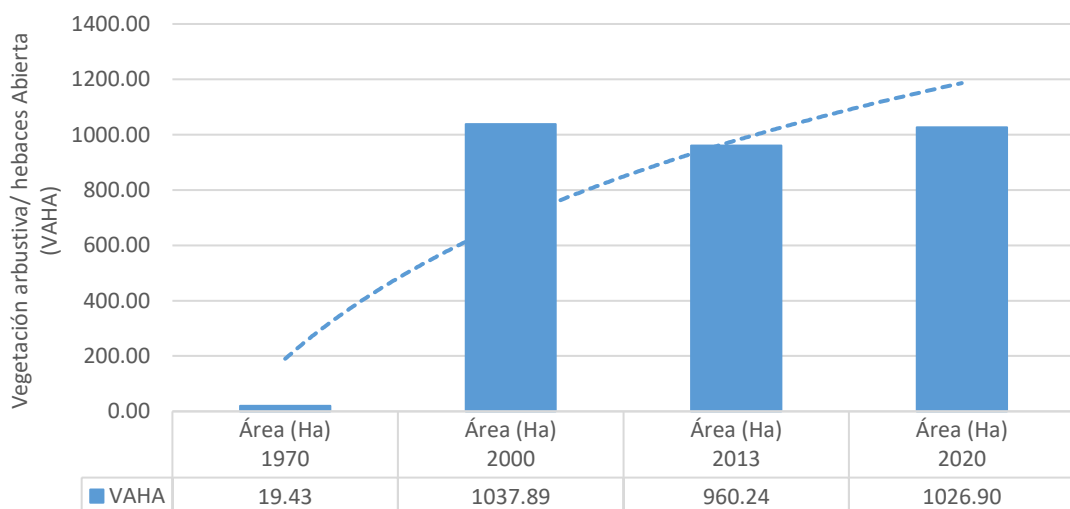
Cambios de usos de la tierra, bosques plantados (BP) 1970-2020.



Nota. Los BP desde 1970 aumentaron, para el año 2000 en total se determinó 48.28 ha y para el año 2020 aumentó a 156.40 ha.

Figura 38

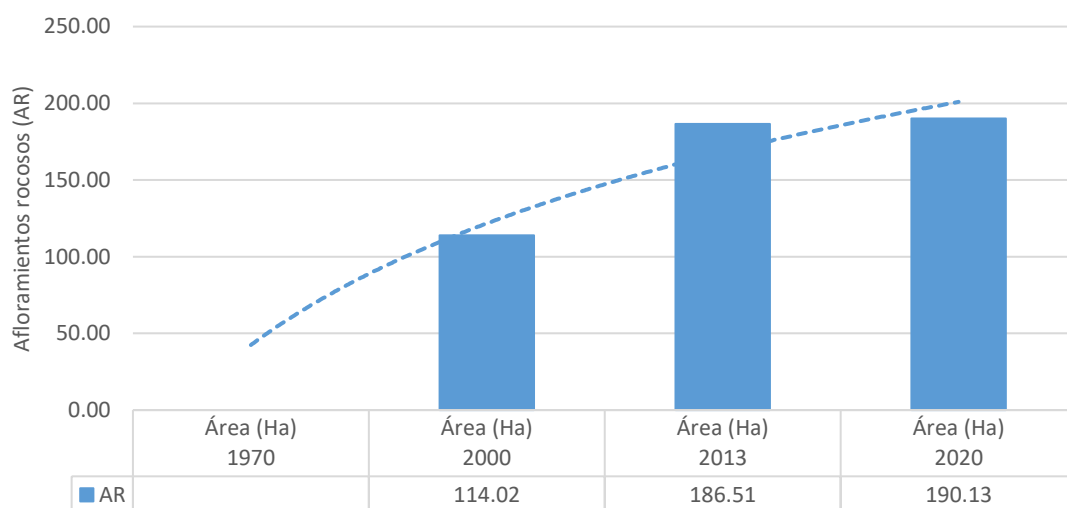
Cambios de usos de la tierra, vegetación arbustiva/ herbácea abierta (VAHA) 1970-2020.



Nota. La VAHA aumentó hasta el año 2000 y posteriormente disminuye hacia el año 2013 a 959.71 ha y finalmente se recuperó hasta 2020 a 1026.37 ha.

Figura 39

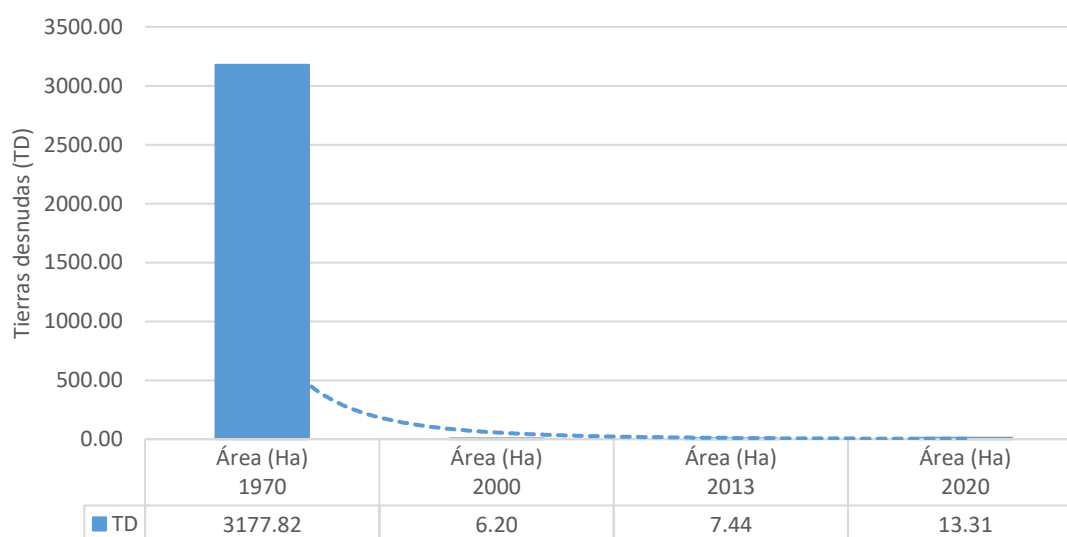
Cambios de usos de la tierra, afloramientos rocosos (AR) 1970-2020.



Nota. Los AR en cambio tienden a crecer, por el cambio de la cobertura glaciaria en la cabecera del área de estudio. Para el año 2000 se obtuvo 114.06 ha y posteriormente hacia el año 2020 se incrementó a 190.15 ha.

Figura 40

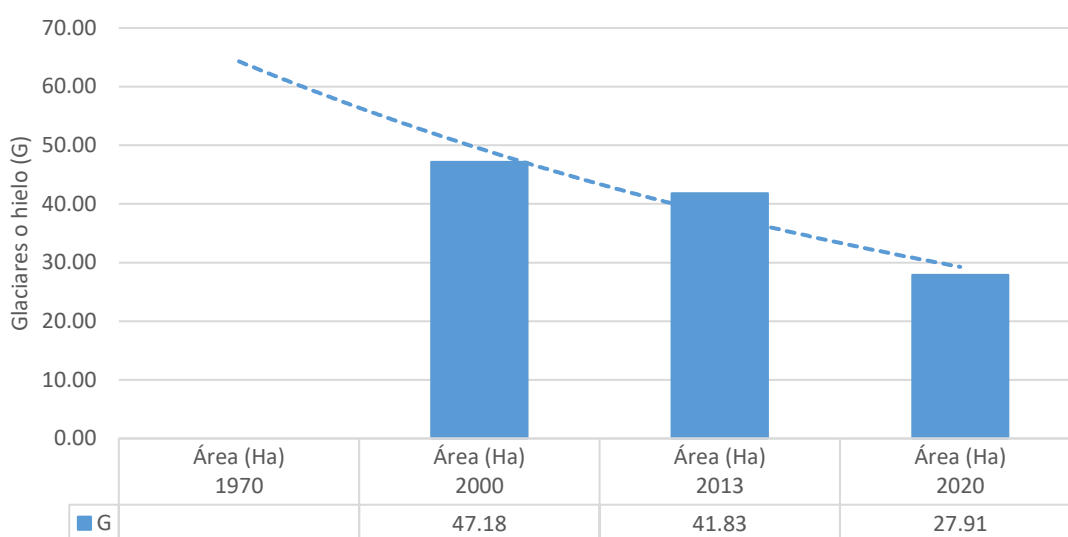
Cambios de usos de la tierra, tierras desnudas (TD) 1970-2020.



Nota. Las TD disminuyeron hasta el año 2000 y, posteriormente, estas aumentaron hacia el 2020 a 13.33 ha. En 1970, esta cobertura creció a consecuencia del alud o sepultamiento, posteriormente el área del alud tiende a recuperarse a CP, CT, BDB y VAHA, así mismo el AHU se intensificó de forma exponencial.

Figura 41

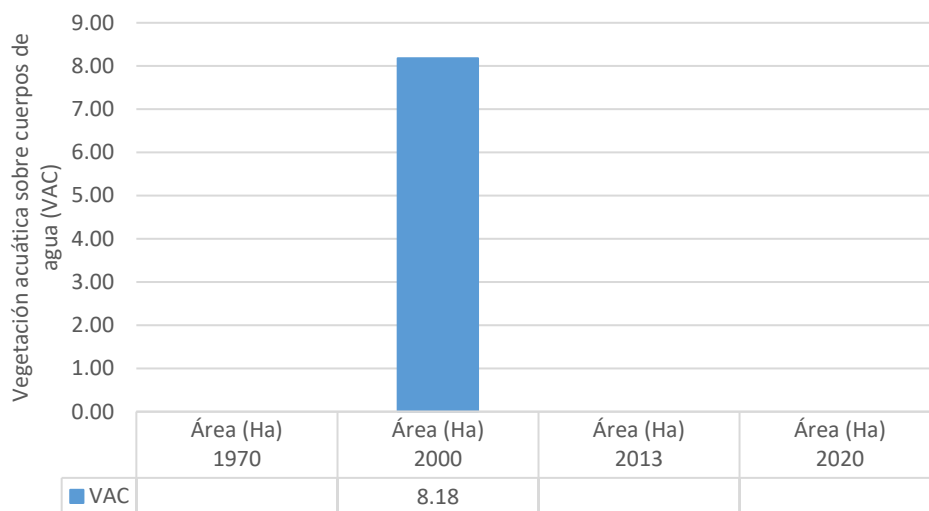
Cambio de uso de la tierra, glaciares o hielo (G) 1970-2020.



Nota. En la figura se muestra que la cobertura glaciara se redujo, para el año 2000 el glaciar en total fue 115.65 ha; mientras para el año 2020 estas disminuyeron hasta 27.93 ha y en consecuencia los AR aumentaron.

Figura 42

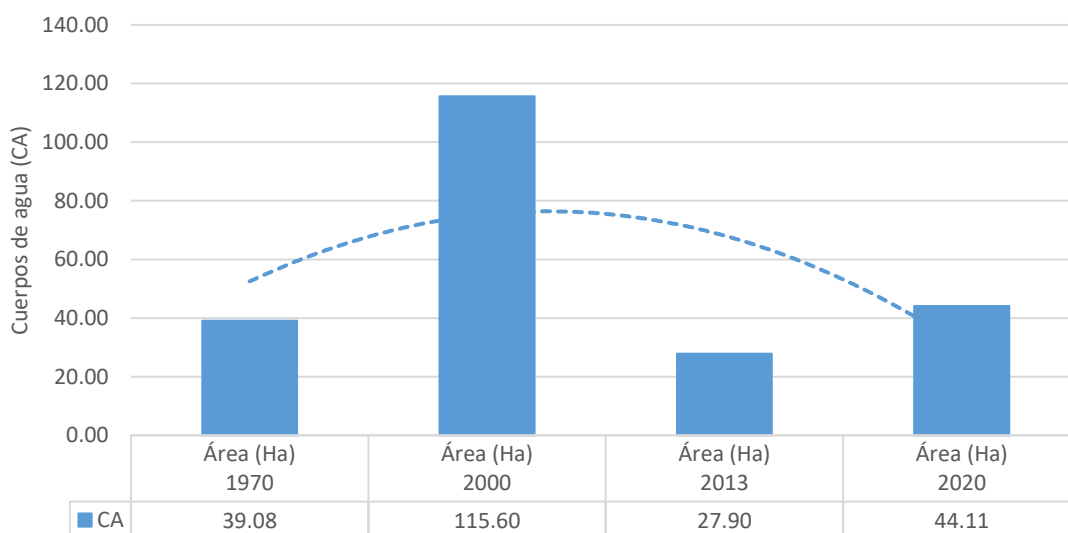
Cambio de uso de la tierra, vegetación acuática sobre cuerpos de agua (VAC) 1970-2020.



Nota. La VAC en períodos de 1970 a 2000 se mantuvo hasta 9.17 ha y, posteriormente, a través de la transformación antropogénica estas cambiaron a cultivos permanentes y transitorios.

Figura 43

Cambio de uso de la tierra, cuerpos de agua (CA) 1970-2020.



Nota. Respecto a los cuerpos de agua estas varían de acuerdo a las avenidas, sequías y la dinámica de los cuerpos de agua y claramente en la imagen se nota que no existe un patrón de cambio definido.

4.10. Validación de mapas de coberturas y usos de la tierra

Para los años 1970 y 2000, se empleó imágenes satelitales y ortofotos del Google Earth de resolución media, para la edición de las diferentes coberturas de la tierra a través de la interpretación visual, donde no fue necesario emplear matriz de confusión, porque el intérprete está en contacto directo a través de la edición de las coberturas de la tierra.

La clasificación fue evaluada mediante la matriz de confusión y el coeficiente Kappa de Cohen. Para la validación del mapa 2013 se tomaron 46 % de los puntos de control, donde la matriz de confusión o de error a través del coeficiente kappa de Cohen mostró una precisión de 0.81 o 81 % de buena concordancia (tabla 4). Posteriormente se editó los polígonos haciendo uso QGIS y Google Earth, porque la clasificación supervisada no asegura concordancia al 100% por la resolución espacial y error del clasificador.

Para el año 2020 se tomaron 54 % de los puntos de control, donde la matriz de confusión o de error a través del coeficiente Kappa de Cohen mostró una precisión de 0.83 o 83 % de casi perfecta (tabla 4).

4.11. Conflictos de uso de la tierra

Los conflictos de uso de la tierra fueron generados a partir del álgebra de mapas del uso actual de la tierra del año 2020 (figura 48 en el anexo A) y capacidad de uso de la tierra del año 1973 (figura 53 en el anexo A).

Los conflictos de uso de la tierra muestran superficies concordantes o de uso conforme 2066.51 ha o 60.92 %, no concordantes por subuso 655.93 ha o 19.34 % y por sobreuso 204.84 ha o 6.04 % así como las áreas de uso misceláneo (vida silvestre y/o protección) 464.97 ha o 13.71 % conformadas por tierras desnudas, áreas histórico – urbanas y cuerpos de agua.

Tabla 22*Conflictos de uso de la tierra*

Nº	Conflictos de uso	Área (ha)	Área (%)
1	Uso misceláneo	464.97	13.71
2	Sobre uso	204.84	6.04
3	Sub uso	655.93	19.34
4	Uso conforme	2066.51	60.92
Total		3392.24	100

La tasa actual de degradación de la tierra es 25.37 % y se debe corregir oportunamente para no seguir degradando y la gestión debe ser integral e inclusivo. Si no intervienen adecuadamente estas aumentarán, porque se evidenció cambio constante de los usos y coberturas de la tierra, así mismo se degradará los diferentes ecosistemas como cuerpos de agua, bosques plantados, VAHA, entre otros y la necesidad es urgente para detener la degradación y establecer marcos para la gestión sostenible del territorio.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

El área de influencia del alud de 1970, a lo largo de 50 años de análisis ha cambiado la cobertura y usos de la tierra a través de la intervención o presión antropogénica incrementándose las áreas de uso antrópico. Esto queda evidenciado en los mapas temáticos (1970 - 2020) y a partir de los resultados se puede deducir que hubo cambio multitemporal de las coberturas y usos de la tierra; principalmente infraestructuras urbanas, cultivos transitorios y permanentes han ganado mayor espacio desde 1970.

Entre los cambios más significativos después de la perturbación ecosistémica en 1970 del área de estudio fueron las tierras desnudas, que pasaron de 3176.21 ha (93.63 %) a 13.33 ha (0.39 %) en 2020 y estas áreas forman parte de los cultivos permanentes, transitorios, infraestructuras urbanas, bosque denso bajo, vegetación arbustiva/herbácea, entre otros. Las tierras desnudas desde el año 2000 a 2020 aumentaron 7.64 ha indicativo de la degradación ambiental a través de la desertificación.

La cobertura de la tierra en 1970 quedó sepultada generándose un desequilibrio ambiental y progresivamente ha ido recuperándose hasta el año 2000 y posteriormente se redujo a través de la remoción de la cobertura con fines agrícolas e infraestructuras antropogénicas y consecuentemente se ha producido degradación por erosión acelerada o antrópica y naturalmente a través de la erosión hídrica. La degradación del suelo es consecuencia directa de la mala gestión de este recurso y conduce a la reducción o pérdida de la productividad biológica de la tierra, debido a su efecto en el funcionamiento del ecosistema (United Nations [UN], 2022). El suelo se forma en miles y cientos de años, por el contrario, al degradar estas se pierden en períodos cortos debido a factores como la quema, erosión, entre otros (Franco *et al.*, 2015).

Como indican datos de SENAMHI-PISCO (Figura 11) la precipitación anual desde 1996 a 2017 tienden a crecer y en el estudio se verificó destrucción constante de la cobertura vegetal, factor importante de protección del impacto directo de las gotas de lluvia con la superficie de la tierra (Vásquez, 1997) y como resultado la erosión del suelo está afectando los servicios ecosistémicos y el bienestar humano, como respuesta a este mal las prácticas de conservación pueden compensar la degradación continua del suelo.

5.1. Coberturas y usos de la tierra

Entre los factores que favorecieron la transformación de las coberturas de la tierra fueron los factores económico – productivos (productores agropecuarios), factores sociales (demografía y migración), factores institucionales, factores productivos (capital y tecnología) y a través de los fenómenos de origen natural. Por otra parte, datos del INEI muestran crecimiento de la densidad poblacional (Tabla 9) relacionadas con los cambios de las coberturas de la tierra y están asociados al crecimiento demográfico, fecundidad y urbanización (urbano/rural).

La presencia constante de los actores productivos ha generado cambios en la calidad y cantidad de los recursos de la tierra, y seguramente han afectado funciones ecológicas y servicios ecosistémicos que estas proveen.

Probablemente la intervención del factor institucional en la actualidad no es la correcta y no es oportuna en el manejo integral de los recursos de la tierra, porque no existe planes de uso sostenible del territorio del área estudiada, por lo tanto, causa deterioros y cambios de las coberturas de la tierra, así mismo la ausencia o nula participación de las instituciones del estado y la ciudadanía en general es baja.

En los últimos años, las actividades económicas como el uso de capital y tecnología aumentaron en el área de estudio de acuerdo a las evidencias de los cultivos permanentes con tecnologías de primera mano (Figura 63, Anexo E), induciendo deforestación y aumento de cultivos permanentes sin tener en cuenta los servicios ecosistémicos que brindan los recursos a corto, mediano y largo plazo.

Y a continuación se detallan cuatro principales usos de la tierra:

a. Tejido urbano continuo / discontinuo (AUrbCD)

En el área de estudio se ha generado ocupación irregular y disminución de las áreas agrícolas aptas para cultivos transitorios y permanentes (usos agropecuarios), que fue evidenciada a través de las manchas urbanas desde 1970 a 2020. Donde la urbanización ha experimentado un cambio de uso de la tierra drástico durante la rápida urbanización y la fuerza motriz ha cambiado durante el proceso, para satisfacer la creciente demanda de la población asentada en el área de estudio.

A través del incremento de tejido urbano continuo y discontinuo (0 ha para 1970 y 84.53 ha para el año 2000) la vegetación arbustiva/herbácea abierta disminuyó y las tierras aptas para cultivos transitorios y permanentes pasaron a formar parte de las infraestructuras urbanas; así mismo para los años 2013 y 2020 siguió aumentando de 109.45 ha a 133.87 ha.

En período de 50 años, el tejido urbano continuo y discontinuo (AUrbCD) se incrementó a 133.87 ha desde 1970 a 2020, este incremento fue debido al alud de 1970 que sepultó el tejido urbano y posteriormente hasta la actualidad se ha incrementado en términos de áreas a través de la transformación e intervención antropogénica; como consecuencia se espera crecimiento de infraestructuras antropogénicas o crecimiento urbano, así misma disminución de la cobertura vegetal y pérdida de ecosistemas.

b. Cultivos transitorios (CT)

Las áreas agrícolas de cultivos transitorios desde 1970 a 2000 aumentaron de 133.50 ha a 1181.76 ha, con una transformación y/o cambio de 1048.25 ha y principalmente la creciente demanda poblacional ha dado como pasó, zonas agropecuarias y ha transformado zonas abruptas para fines agrícolas.

Para los años 2013 (1317.05 ha) y 2020 (1059.28 ha), la actividad agropecuaria de cultivos transitorios disminuyó 257.77 ha que pasaron a formar parte de los cultivos permanentes.

En general las áreas del alud de 1970, fueron modificadas o transformadas a cultivos transitorios (1059.28 ha o 31.23 %) y permanentes (232.44 ha o 6.85 %). Estas zonas se intensificaron a través del tiempo, como resultado disminuyeron los ecosistemas y fueron consecuencia de los manejos inadecuados, así como la deforestación, colección de leña y quema de la cobertura vegetal (Figura 66, Anexo E); este proceso probablemente ha generado desequilibrio ecológico y afectó la capacidad actual y/o potencial de la tierra para producir bienes o servicios.

En el área de estudio la agricultura es mixta de riego y seco. En el primer caso, el riego es continuo todo el año para producir; mientras que en el segundo, es empleado durante las estaciones de lluvia (noviembre-abril) y posteriormente estas tierras descansan o no son cultivadas. Actualmente, la estación de lluvias ha cambiado y es incierta la agricultura en estas tierras, porque la precipitación ha variado en intensidad y tiempo de duración y las consecuencias en la agricultura ha sido negativa en estas tierras. En zonas de riego permanente se pueden cosechar dos veces al año actualmente.

El riego empleado es por gravedad. Este tipo de riego mal manejado contribuye en la disminución de la calidad y cantidad del agua y la degradación de los suelos, como se evidenció en el estudio. Este tipo de riego está generando pérdida de las capas superficiales y fértiles del suelo, para evitar estos problemas deben implementar otros sistemas de riego como aspersión con el fin de disminuir la erosión y pérdida de las coberturas de la tierra.

Las técnicas agronómicas en el uso y manejo de tierras son mediante labranza manual a través de la tracción animal, acción humana empleada mayormente en pendientes pronunciadas donde genera deterioro de la capa arable del suelo y labranza mecanizada empleada mediante el arado de discos. Actualmente, este tipo de labranza es ejecutado en la parte baja del área de estudio induciendo compactación del suelo.

Las labores culturales como el deshierbe o control de malezas, aporque, poda y abonamiento se realizan a mano, utilizando pico, lampa, machete, hoz, tijera de podar, entre otros. La fertilización de las tierras agrícolas se realiza mediante las posibilidades económicas del campesino y sin tener en cuenta características químicas del suelo en su gran mayoría. El abonamiento o fertilización se realiza mediante estiércol de los animales y mediante el uso de abonos artificiales como la urea, nitrato de amonio, fosfato di amónico, superfosfato triple, entre otros.

Entre las prácticas de conservación identificadas en el área de estudio son obras estructurales como formación de andenes y prácticas agronómicas como surcos en contorno, rotación de cultivos y cultivos en fajas, estas prácticas son empleadas mayormente en la parte baja y media del área de estudio y en la parte alta por falta de prácticas conservacionistas se observó erosión laminar, en surcos y en cárcavas generando como consecuencia directa pérdida de la capa superficial sustento de la cobertura vegetal y cultivos en general.

c. Cultivos permanentes (CP)

Aprovechando excelentes condiciones climáticas en la parte baja e intermedia del área de estudio se ha desarrollado los cultivos permanentes en su gran mayoría (Tabla 23, Anexo B).

Desde el año 2000 los cultivos permanentes se han intensificado generando deforestación, cambios en la cobertura vegetal y reducción de los cultivos transitorios, como indican los resultados de los mapas temáticos del año 2000 (62.13 ha), 2013 (119.26 ha) y 2020 (232.44 ha), estas aumentaron de forma progresiva y la tendencia es creciente hasta el año 2020. Estos cultivos se incrementaron hasta el año 2020, 232.44 ha o 6.85 %.

Los cultivos permanentes son regados por inundación y a consecuencia de esto, actualmente en el área de estudio se está perdiendo capas más fértiles del suelo por erosión.

d. Vegetación arbustiva/ herbácea abierta (VAHA)

La VAHA como indicador más importante relacionado con la degradación de la tierra, constantemente se ha modificado de 1970 a 2020 y estas pasaron a formar parte de las infraestructuras urbanas, cultivos transitorios y permanentes generalmente. Desde 1970 a 2000 esta cobertura aumentó a 1037.68 ha o 30.59 % y posteriormente hacia el año 2020 disminuyó 11.31 ha y pasó formar parte de los cultivos transitorios, permanentes e infraestructuras urbanas.

5.2. Conflictos de uso de la tierra

En cuanto a las tierras, clasificadas por ONERN en 1973 de acuerdo a su capacidad de uso (Figura 52, Anexo A), las mejores tierras se encuentran en la parte baja o valle del área de estudio, dominados por tierras arables aptas para cultivos intensivos y otros usos (agricultura diversificada) de clases II (1.76 %), III (34.28 %) y IV (3.76 %) principalmente y la clase VI (13.98 %), tierras no arables aptas solo para cultivos permanentes (frutales, pastos y forestales). Como resultado del uso actual de la tierra estas áreas han sido intervenidas para tejido urbano continuo/discontinuo (3.95 %), redes viales y para áreas histórico urbanas (1.63 %); técnicamente de acuerdo a su a su capacidad de uso de la tierra no es el correcto. Estas tierras de acuerdo al nivel de degradación son ligeramente erosionadas.

La clase VII con limitaciones de pendiente y con nivel de degradación extremadamente erosionada en el área de estudio, representa el de mayor proporción 32.91 % que son específicamente tierras marginales para agricultura (aptas exclusivamente para pastoreo y forestal), se ubica en la cabecera o parte alta del área de estudio, sin embargo, los usos actuales denotan cultivos permanentes y transitorios acompañado de la ganadería extensiva; como resultado hay pérdidas y cambios de las coberturas de la tierra, sin tener en cuenta el uso potencial de la tierra y las prácticas de conservación.

a. Sobreuso

Los conflictos por sobreuso actualmente identificadas y descritas son las siguientes (figura 53 en el anexo A):

- **CSU-1:** de acuerdo a su capacidad de uso estas áreas, son para cultivos permanentes o clase VI, pero en la actualidad hay sobreuso de la tierra para cultivos transitorios y no son las adecuadas.
- **CSU-2:** estas tierras igualmente se deberían de emplear para cultivos permanentes o de menor capacidad, pero en la actualidad se emplea para cultivos transitorios y para bosques plantados.
- **CSU-3 y CSU-4:** estas tierras son exclusivamente para pastos o forestales y en la actualidad se viene formando manchas de cultivos transitorios perdiendo diferentes coberturas de la tierra.

Para la gestión sostenible del territorio se debe corregir este problema, porque no serán sostenibles a largo plazo por la degradación continua de la tierra y por la escasez de prácticas conservacionistas

b. Subuso

Son las áreas no concordantes de acuerdo a su vocación de uso y actualmente representan (19.34 %) donde se debe de corregir los usos de la tierra e incidir mucho más en las prácticas conservacionistas.

c. Uso conforme

Las áreas de uso conforme (60.92 %) son las adecuadas y han cambiado para bien de acuerdo a su capacidad de uso de la tierra, pero las prácticas conservacionistas son deficientes, por lo tanto, se debe de mejorar para conservar, proteger y emplear adecuadamente a través del tiempo.

d. Uso misceláneo

Estas tierras pertenecen a la clase VIII y son tierras no aptas para fines agropecuarios ni explotación forestal abarca actualmente afloramientos rocosos (5.61 %), tejido urbano continuo y discontinuo (3.95 %), área histórico urbano (1.63 %), glaciar (0.82 %) y los cuerpos de agua (1.30 %).

Las prácticas de conservación son bajas y ha provocado degradación de la tierra a través de la erosión. En fin, se debe buscar una mejor correspondencia entre las clases de capacidad de uso y usos actuales de la tierra para aprovechar sosteniblemente el territorio. Por una parte, las zonas llanas son las más fértiles y se encuentran en la parte baja del área de estudio, donde se debe incorporar e incidir más en las prácticas conservacionistas y no ocupar a través de las infraestructuras urbanas, porque no es concordante de acuerdo a su capacidad de uso, así mismo en la parte alta también se deben de implementar mecanismos para una mayor protección de la tierra.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- a. En 50 años de análisis de la cobertura y usos de la tierra (1970-2020) en el área de influencia del alud de 1970, hubo cambio de coberturas y usos de la tierra; los cambios más significativos en el período de análisis fueron:
 - Tejido urbano continuo/discontinuo, aumentó en total 133.87 ha desde 1970 a 2020 y no son concordantes de acuerdo a su capacidad de uso o cambiaron para mal, porque las áreas donde se ha desarrollado son para fines agrícolas de clase II, III, IV y VI. Las tendencias de los cambios indican crecimiento acelerado de estas coberturas de la tierra y se espera intervención en tierras aptas para cultivos transitorios y permanentes, así como disminución de las coberturas vegetales.
 - El área de estudio del alud de 1970, fueron modificadas o transformadas a cultivos transitorios (1059.28 ha o 31.23 %) y permanentes (232.44 ha o 6.85 %). Estas zonas se intensificaron a través del tiempo, como resultado disminuyeron los ecosistemas y fueron consecuencia de los manejos inadecuados, este proceso probablemente ha generado desequilibrio ecológico y posiblemente afectó la capacidad actual y/o potencial de la tierra para producir bienes o servicios. Y de acuerdo a las tendencias de cambios, se espera aumento de los cultivos permanentes y disminución de los cultivos transitorios.

- La vegetación arbustiva/herbácea abierta; fue predominante hasta el año 2000 con 1026.37 ha, sin embargo, estas superficies cambiaron a cultivos transitorios y permanentes para bien de acuerdo a su capacidad de uso de la tierra en la parte baja del área de estudio, pero con respecto a los manejos de la tierra no son las adecuadas. Y en la parte alta o cabecera del área de estudio se espera disminución de esta cobertura por la dinámica creciente de los cultivos transitorios y permanentes, esto de acuerdo a su capacidad de uso no es la correcta.
- b. El área de influencia del alud de 1970 muestra tendencias de cambios a través de la transformación e intervención antropogénica entre los factores identificados del cambio de uso de la tierra son los actores sociales (productores agropecuarios), factores sociales (demografía y migración), factores culturales e históricos, factores institucionales, factores productivos (capital y tecnología) y factor inducido por fenómenos de origen natural. Así mismo, los conflictos de uso de la tierra muestran 60.92 % del territorio es concordante o de uso conforme, el 25.37 % es no concordante, por subuso 19.34 %, por sobreuso 6.04 % y 13.70 % es de uso misceláneo o de protección.

6.2. Recomendaciones

- a. Gestionar correctamente el 25.37 % del territorio que no es concordante de acuerdo a su vocación de uso.
- b. Se recomienda crear estrategias orientadas al correcto uso de la tierra del área de influencia del alud de 1970, así mismo, formular políticas inclusivas orientadas a la recuperación de las áreas en conflicto, con el fin de disminuir degradación continua y costos económicos a través de sus efectos sobre la producción agrícola e infraestructura.
- c. Implementar planes de desarrollo territorial y dar a conocer a la población en general los usos de la tierra, conflictos de uso de la tierra y capacidad de uso de la tierra; para tomar decisiones concordantes en el territorio.
- d. Actualizar las áreas de capacidad de uso de la tierra de acuerdo a la normativa peruana vigente (DS N° 017-2009-AG; clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor) para estandarizar procesos y resultados.
- e. Actualizar la distribución de las áreas por condiciones climáticas para obtener resultados confiables, porque los datos climáticos han variado de acuerdo a SENAMHI-PISCO.

REFERENCIAS

- Barreda, E. (2002). *Propuesta de zonificación agroecológica y de los sistemas agropecuarios en la cuenca de los ríos Ilave–Huenque (Puno, Perú)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Bense, T. (2020, 04 de abril). *Introducción a la percepción remota*. http://www.teledet.com.uy/tutorial-imágenes_satelitales/imagenessatelitales-tutorial.htm
- Borrelli, P., Robinson, D., Fleischer, L., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K., Montanarella, L. & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8-2013. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Bravo, N. (2017). *Teledetección espacial Landsat, Sentinel2, Aster L1T y Modis*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://acolita.com/descargar-libro-pdf-teledeteccion-espacial/>
- Buckman, H. y Brady, N. (1977). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Montaner y Simon S.A.
- Caputo, A., & Pellegrini, M. (2019). *The anatomy of entrepreneurial decisions*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19685-1_3
- Cartaya, S., Zurita, S., Mantuano, R. (2018). Identificación de conflictos de uso de la tierra para la observación de Cuniculus paca, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 59 (2), 262-279. <https://www.redalyc.org/journal/3477/347760473003/movil/>
- Chuvieco, S. E. (2010). *Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio (1.ª ed.)*. Editorial Ariel.
- Civco, D. (1989). Topographic normalization of landsat thematic mapper digital imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(9), 1303-1309.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2005). *Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales*. CEPAL.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2020, 04 de abril). *Glosario monitoreo de la cobertura de suelo de escala nacional a continental*. https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/cobertura_suelo/glosario.html
- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación [UNCCD]. (1994). *Convención internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación en particular en África. Texto Final de la Convención*. www.unccd.int
- Di Gregorio, A., Jansen, L. (2000). *Land cover classification system: classification concepts and user manual (2nd ed.)*. FAO.
- Dorronsor, C. (2022, 12 de febrero). *Evaluación de suelos*. <http://www.edafologia.net/evaluacion/indice.htm>
- Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2019, 15 de noviembre). *¿Qué es el Álgebra de mapas?*. <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>
- Espinosa, J. (2020). Aplicación de algoritmos Random Forest y XGBoost en una base de solicitudes de tarjetas de crédito. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21 (3), 1-16. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21.3.022>
- European Space Agency [ESA]. (2020, 7 de mayo). *Las misiones Sentinel*. <https://www.esa.int/>
- FAO. (2007). *Cobertura del suelo y detección de cambios 2000-2011*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/288333/>
- FAO. (2013). *Cambio de uso de las tierras forestales mundiales 1990–2005*. <https://www.fao.org/3/i3110s/i3110s00.htm>
- FAO. (2015). *Cobertura del suelo y detección de cambios 2000-2011*. Editorial grafica Mosca. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/288333/>
- FAO. (2019, 15 de noviembre). *Conservación de suelos y aguas en América Latina y el Caribe*. <https://www.fao.org/americas/prioridades/suelo-agua/es/>

- FAO. (2020, 04 de abril). ¿Qué es el Suelo?. <https://www.fao.org/soils-portal/es/>
- FAO. (2020, 7 de mayo). *Uso de la tierra en la agricultura según las cifras*. <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/es/c/1279267/>
- Fernández Coppel, I. A. y Herrero Llorete, E. (2001). *El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat*. Universidad de Valladolid. <https://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf>
- Franco, O., Sánchez, R., Eduardo, C., Otero, J. y Salamanca, A. (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia 2015*. Ediplas Ltda.
- Gamarra, S. (2017). *Análisis de la cobertura y uso de la tierra utilizando imágenes de resolución espacial media para el distrito de San Ramón - Chanchamayo - Junín – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3292>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2018). *Estudio especializado: análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra*. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/>
- Gomasasca, M., A. (2004). *Basics of geomatics*. Springer. [10.1007/978-1-4020-9014-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9014-1)
- González, G. (2018). *Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la provincia de Manu, 2000 – 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Archivo digital. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2277?locale-attribute=es>
- González, F. A. (2007). *Fundamentos de fotointerpretación (2.ª ed.)*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Grupo TYC GIS formación. (2020, 7 de mayo). *NDVI, ¿Qué es y para qué sirve?*. <https://www.cursosteledeteccion.com/>
- Guarachi, E. 2001. *Clasificación de tierras según su capacidad de uso mayor en el distrito de Machaca provincia Ayopaya*. [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Simón]. Archivo digital. <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/>

- Ibáñez, N. y Damman, (2013). *Cambios de la cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios territoriales en la región Apurímac*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/>
- IDEAM. (2004). *Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia*. <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-main.pl>
- Instituciones Iberoamericanas [GEOINSTITUTOS]. (2020, 04 de abril). *La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panamá*. http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2008). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1.100.000*. <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-main.pl>
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA]. (1995). *Mapa ecológico del Perú*. Ministerio de Agricultura.
- Klingebiel, A. & Montgomery, P. (1961). *Land-capability classification*. U.S. Governhrnt Printing Office.
- Lambin, E., Baulies, N., Bockstael, G., Fisher, T., Krug, R., Leemans, E., Moran, R., Rindfuss, Y., Sato, D., Skole, B., Turner II, & Vogel, C. (1999). *Land use and land cover change implementation strategy*. IGBP report 48. IHDP report 10. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc12005/>
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2003). Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lara, R.; Lizeca, J. y Fukushima, Y. (2002). *Memoria del mapa de cobertura y uso de la tierra*. Superintendencia Agraria.

- López, E. (2006). *Patrones de cambio de uso del terreno en la Cuenca del Lago de Cuitzeo*. [Tesis para obtener el grado de doctorado en ciencias, Universidad Autónoma de México]. Archivo digital. https://repositorio.unam.mx/contenidos/patrones-de-cambio-de-uso-del-terreno-en-la-cuenca-de-cuitzeo-96164?c=plMm0R&d=false&q=*&i=2&v=1&t=search_0&as=2
- Mehl, H. y Peinado, O. (1997). *Fundamentos del procesamiento digital de imágenes en aplicación de la teledetección y de los sig en la gestión de recursos naturales*. Editorial Deutsche.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *Evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación*. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/publicaciones-y-documentos-de-interes/>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016). *Instrumentos técnico normativos del ordenamiento territorial*. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2020, 04 de abril). *Ecosistemas*. <https://www.gob.pe/minam>
- Morgan, R. P. (2005). *Soil Erosion and Conservation (3rd ed.)*. Blackwell Publishing LTD.
- Murillo, A. (2017). *Análisis de cambios de cobertura y uso actual de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Llacanora, periodo 2001-2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1687?show=full>
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN]. (1973). *Estudio de suelos del Callejón de Huaylas (Semidetallado)*. Ministerio de Agricultura. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1012>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. <https://volaya.github.io/libro-sig/>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2022, 20 de febrero). *Aplicación de datos del mes: degradación del suelo*. <https://www.un-spider.org/es>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2015, 26 de mayo). *Los suelos constituyen la base de la vegetación*. <https://www.fao.org/soils-2015/es/>
- Pérez, C. y Muñoz, A. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*.
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de valle de Santiago*. [Tesis de maestría en Geomática, Centro de Investigación en Geografía y Geomática]. Archivo digital. <http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/41>
- Plafker, G. &, Ericksen, G.E. (1978). Nevados Huascarán avalanches, Perú. *Natural Phenomenon*, 14, 277–314. [10.1016/B978-0-444-41507-3.50016-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41507-3.50016-7)
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M. y Garrido, A. (2011). *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/ciga.9789688179239p.2011>
- Reyes, G. (2014). *Análisis de cambios de uso de suelo para los años 1984, 2000 y 2008 de la cuenca del Rio Tenancingo, Estado de México*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Archivo digital. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/>
- Salitchev, K. A. (1979). *Cartografía*. Editorial Pueblo y Educación.
- Sampaio de Almeida, W., Panachuki, E., Tarso, P., Menezes, R., Alves, T. & Fonseca de Carvalho, D. (2018). Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil & Tillage Research*. 175, 130-138 <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009>
- Sandmeier, S. & Itten, K. (1997). A physically-based model to correct atmospheric and illumination effects in optical satellite data of rugged terrain. *In IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(3), 708-717. <http://dx.doi.org/10.1109/36.581991>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2011). *Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras*. <https://www.gob.mx/semarnat>

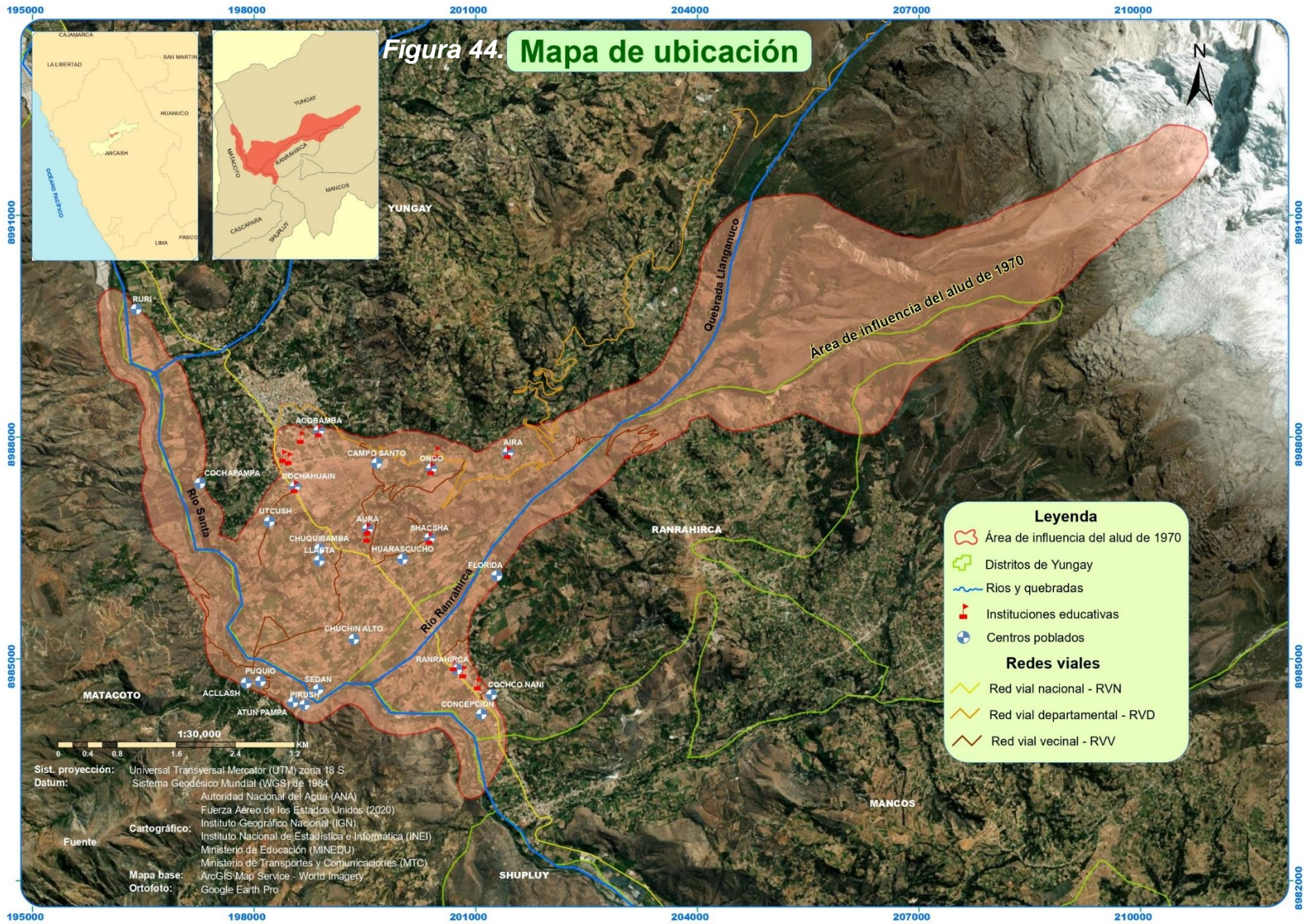
- SEMARNAT. (2002). *Compendio de estadísticas ambientales*.
https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/Presentacion/index.htm
- Stocking, M. y Murnaghan, N. (2003). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra*. Mundi-Prensa S.A.
- Tantaleán, (A. 2016). *Análisis de Cambios de Cobertura y Uso del Suelo en el distrito de Chota, Periodo 1989 - 2013*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Teillet, P.M., Guindon, B. & Goodenough, D. (1982). On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8(2), 84-106, <https://doi.org/10.1080/07038992.1982.10855028>
- Tokola, T., Sarkeala, J., & Van Der Linden, M. (2001). Use of topographic correction in Landsat TM based forest interpretation in Nepal. *International Journal of Remote Sensing*, 22(4), 551-563.
<https://doi.org/10.1080/01431160050505856>
- Tovar, B., Lizarazo, S., y Rodríguez, M. (2019). Estimación de biomasa aérea de *Eucalyptus grandis* y *Pinus spp* usando imágenes Sentinel1A y Sentinel2A en Colombia. *Colombia Forestal*, 23 (1), 79-93.
<https://doi.org/10.14483/2256201x.14854>
- Turner, M. G. (1989). Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 171-197.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.20.110189.001131>
- United Nations [UN]. (2022, 27 de enero). *Data application of the month: land degradation*. <https://www.un-spider.org/es/enlaces-y-recursos/fuentes-de-datos/daotm-degradacion-suelo>
- United States Geological Survey [USGS]. (2020, 04 de abril). *What are the band designations for the Landsat satellites?*. <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>.

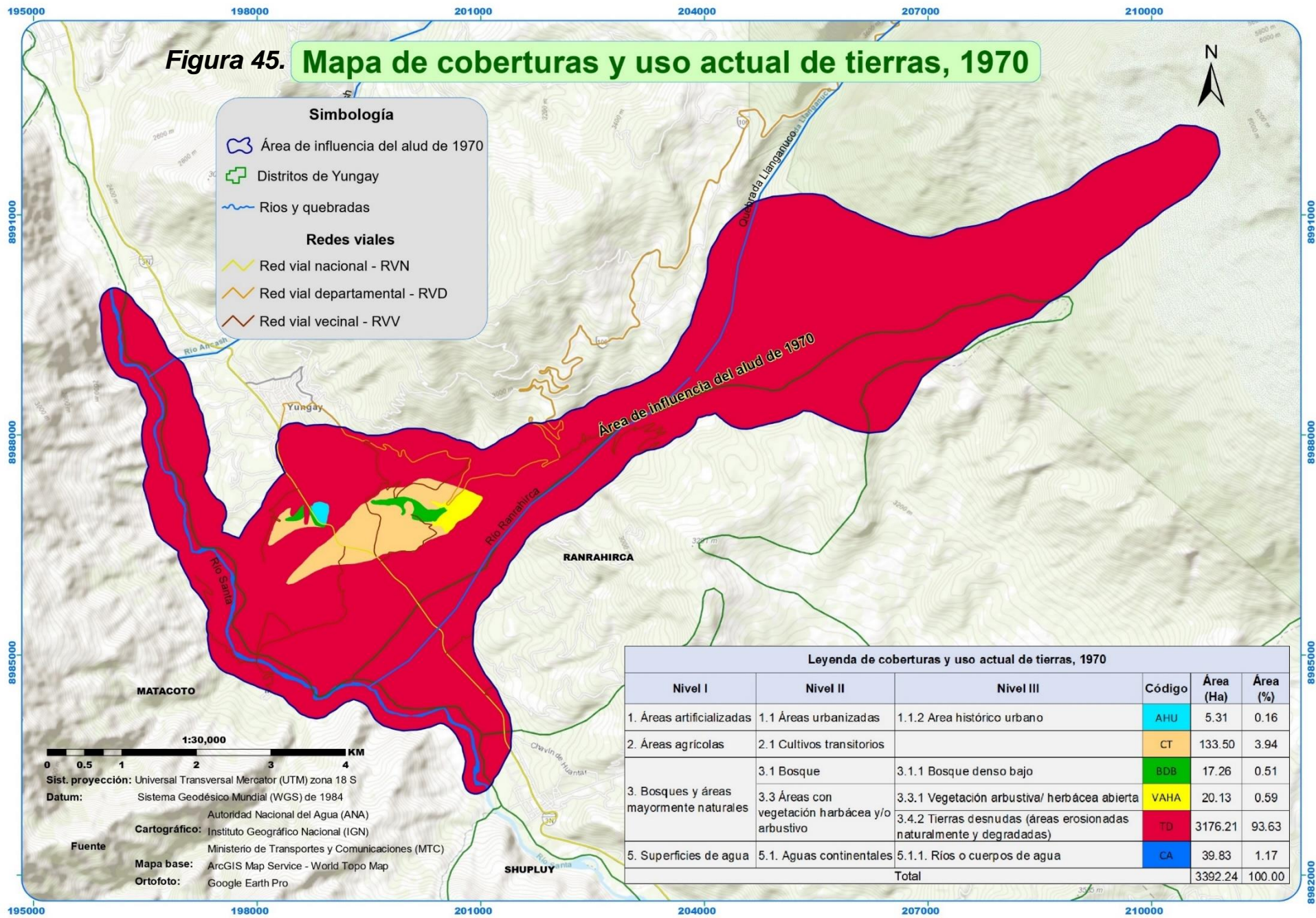
- USGS. (2020, 04 de abril). *Using the USGS Landsat Level-1 data product*.
<https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>
- Valdez, J., Salado, C., y Ángeles, G. (2011). Análisis de los cambios en el uso del suelo en la cuenca del río Metztitlán (México) usando imágenes de satélite. 1985-2007. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(3), 313-324. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.06.041>
- Vásquez, A. (1997). *Manejo de cuencas altoandinas*. Edias S.A.
- Vera, J. y Romero, J. (1994). Impacto ambiental de la actividad agraria. *Revista de Agricultura y Sociedad*, 71, 153-181. <http://hdl.handle.net/10045/15503>
- Watson, R., Bert, I., Ravindranath, NH., Leary, N., Canziani, O., Manning, M., Griggs, D., Fortunat Joos, F., John Stone, J., Metz, B., Calvo, E., Kuikman, P., Verardo, D. & Sundararaman, N. (1998). *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry*.
<https://www.grida.no/climate/ipcc/index.htm>
- Wolf, R. P. (1983). *Elements of photogrammetry: with air photo interpretation and remote sensing (2nd ed.)*. McGraw-Hill.

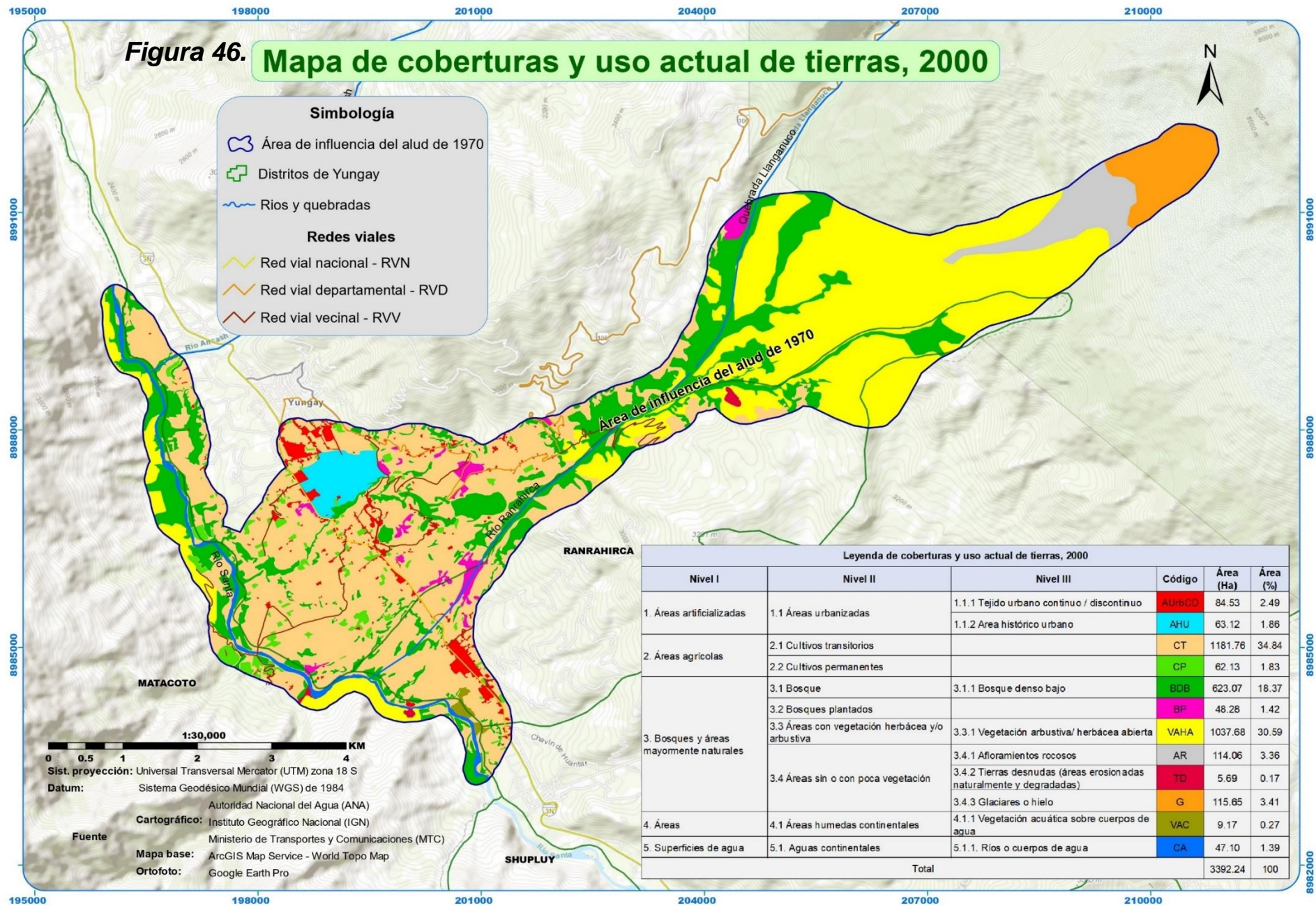
ANEXOS

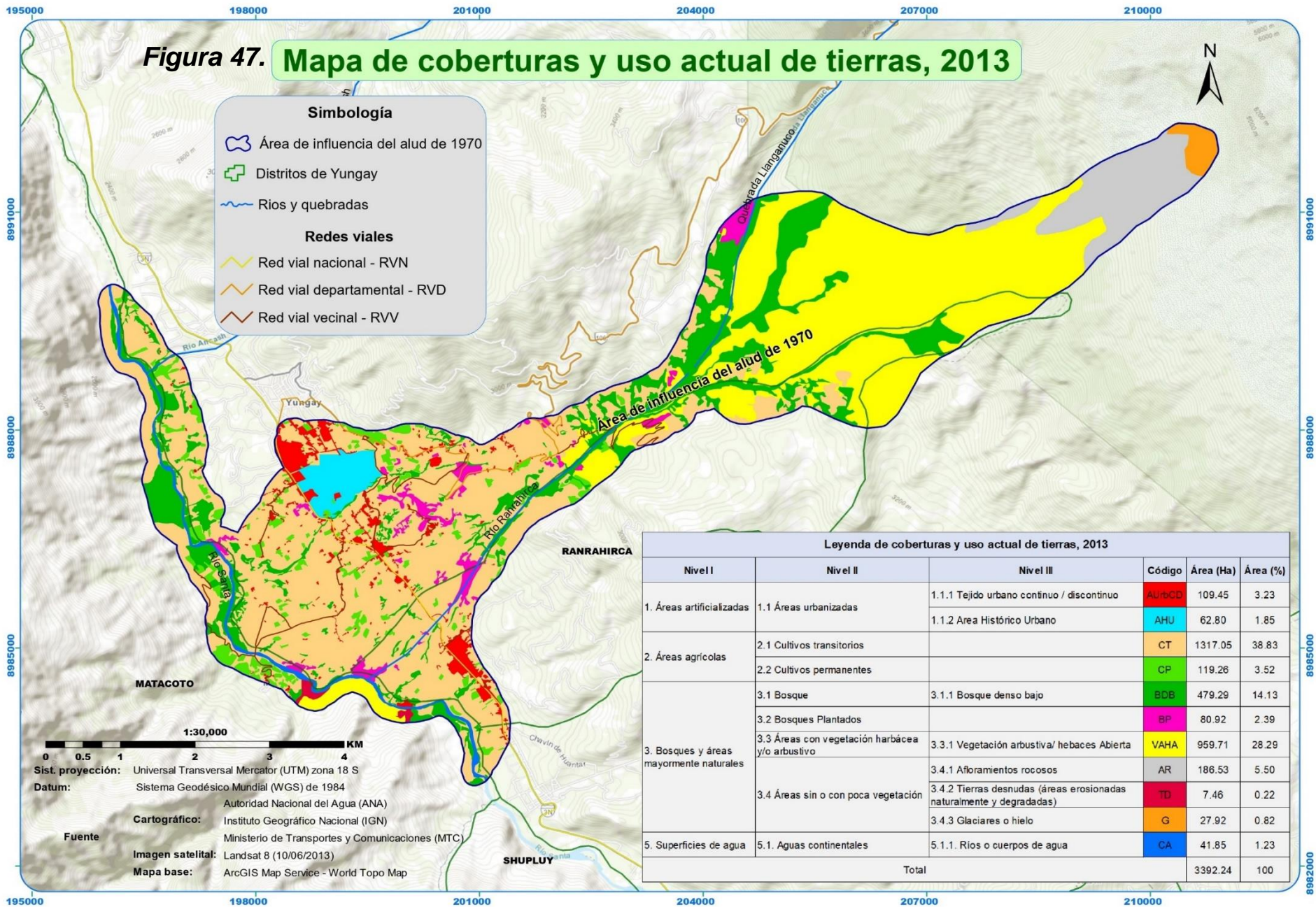
Anexo A. Mapas del área de influencia del alud de 1970, Ranrahirca – Yungay, 1970-2020.

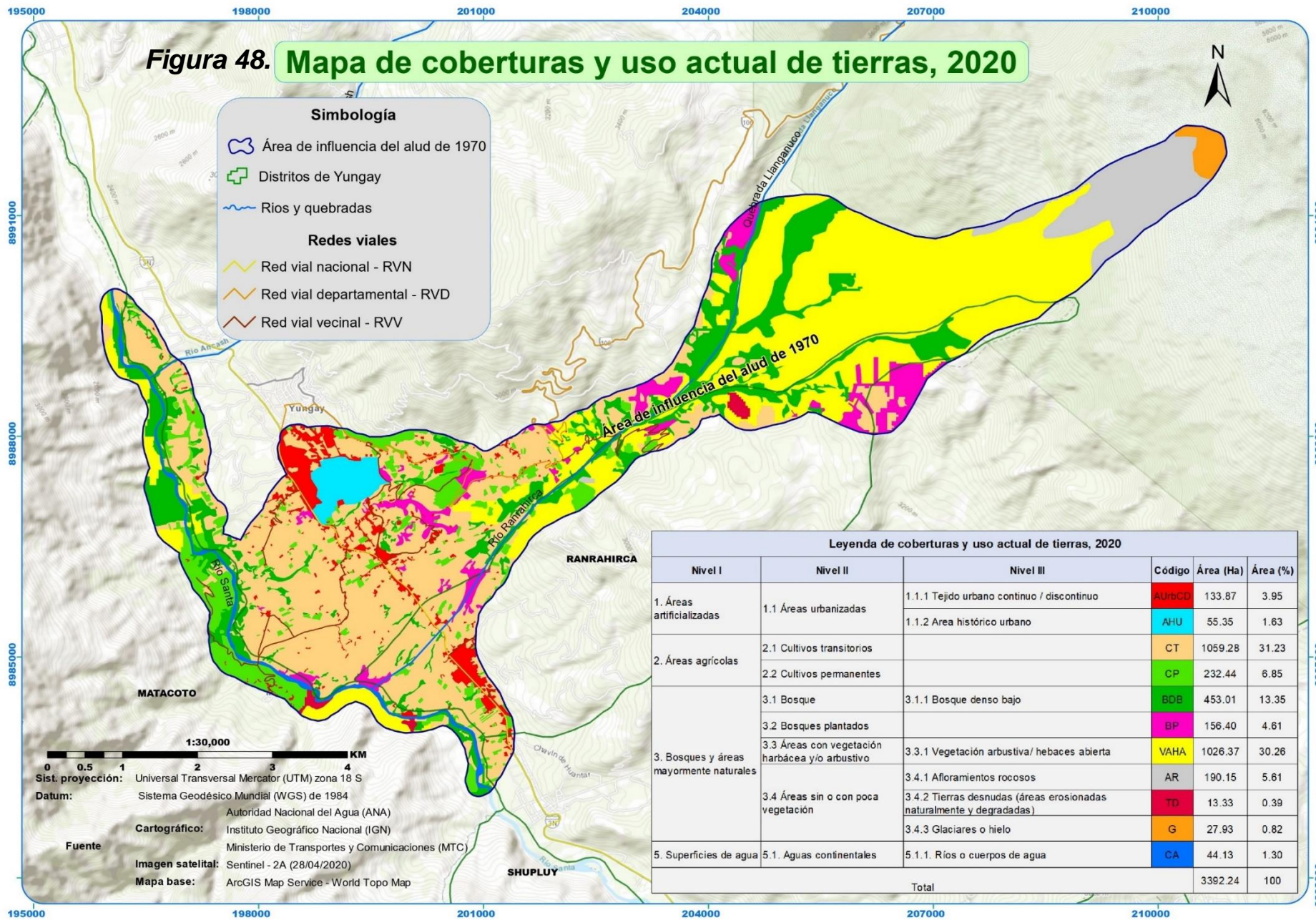


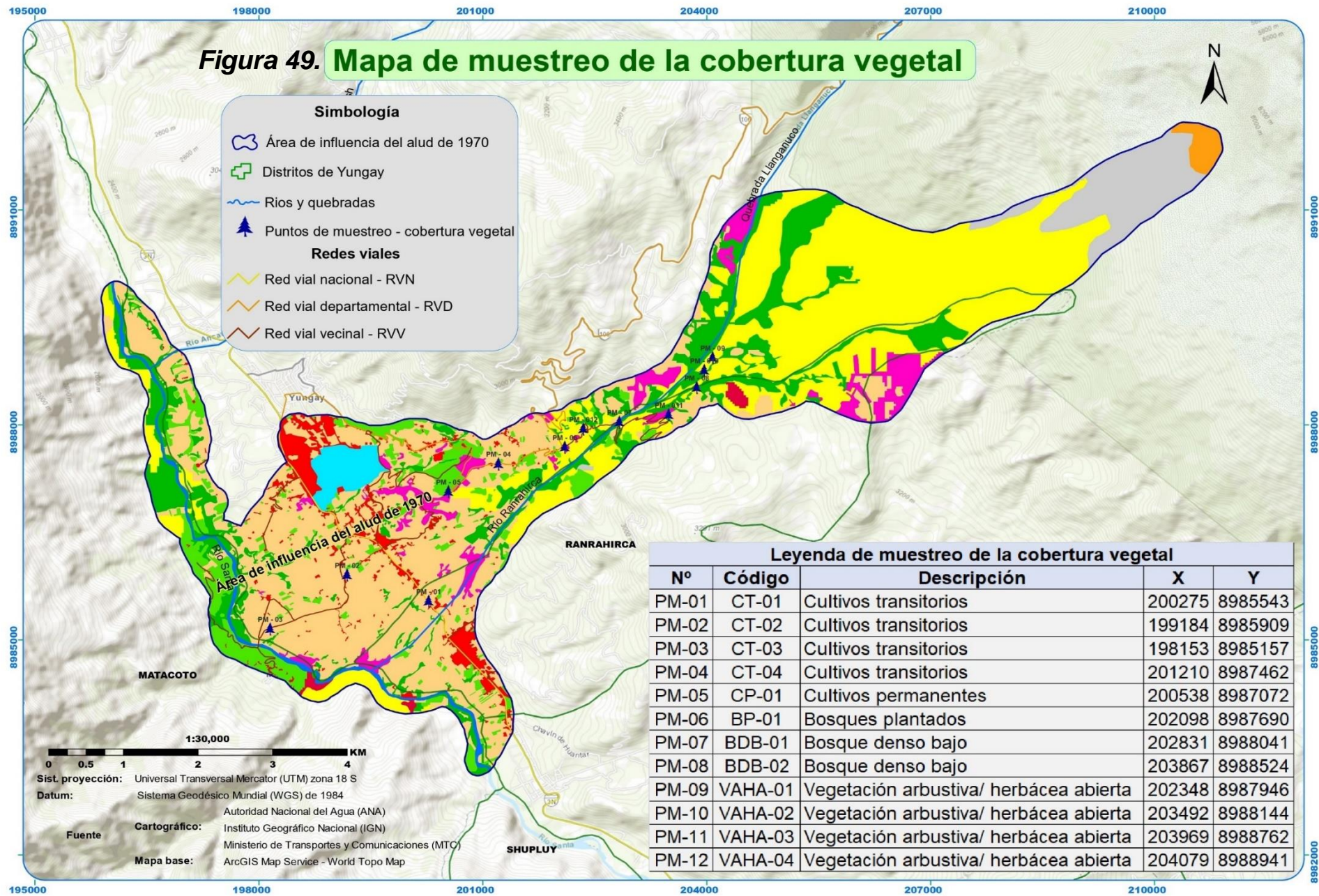


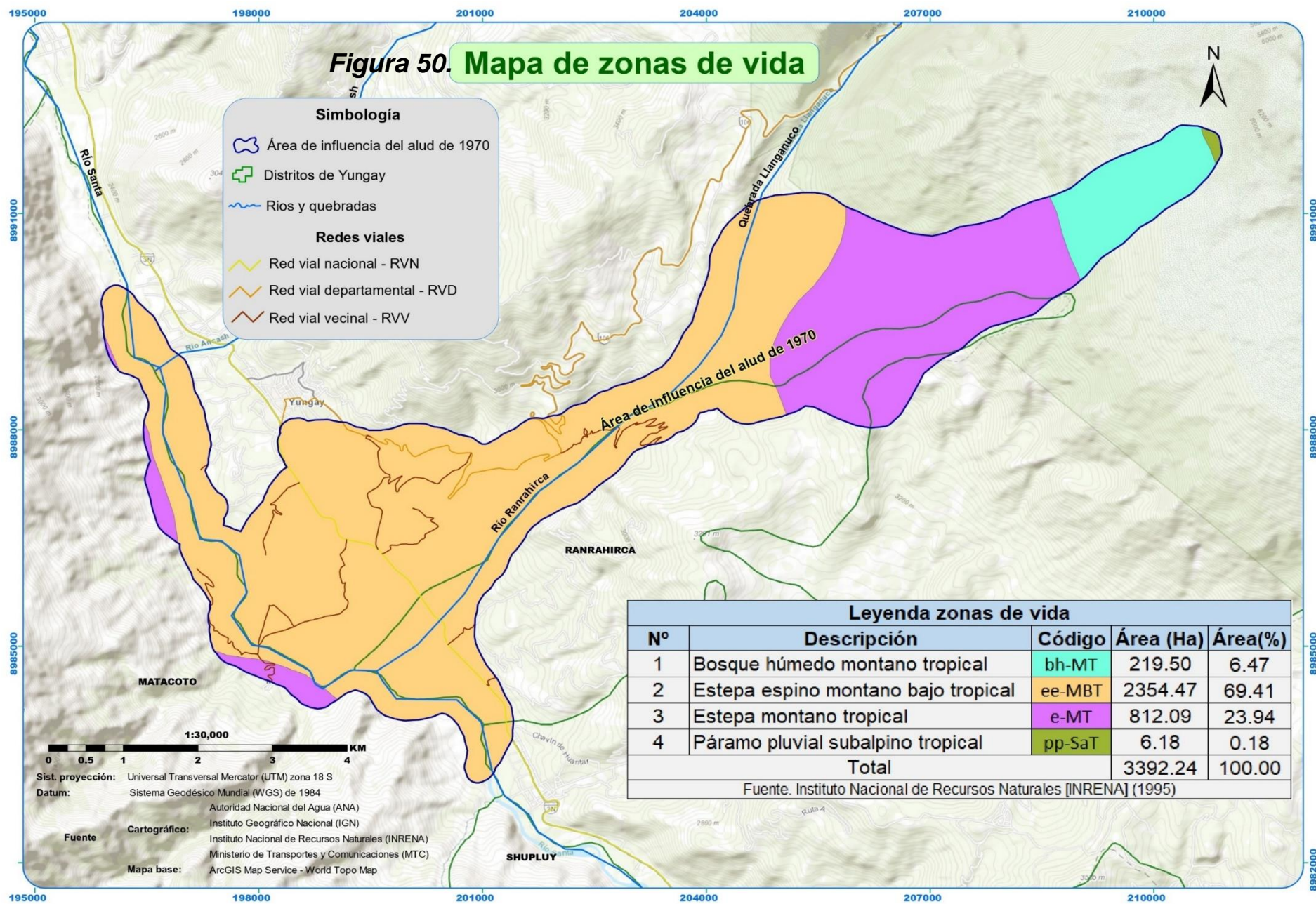


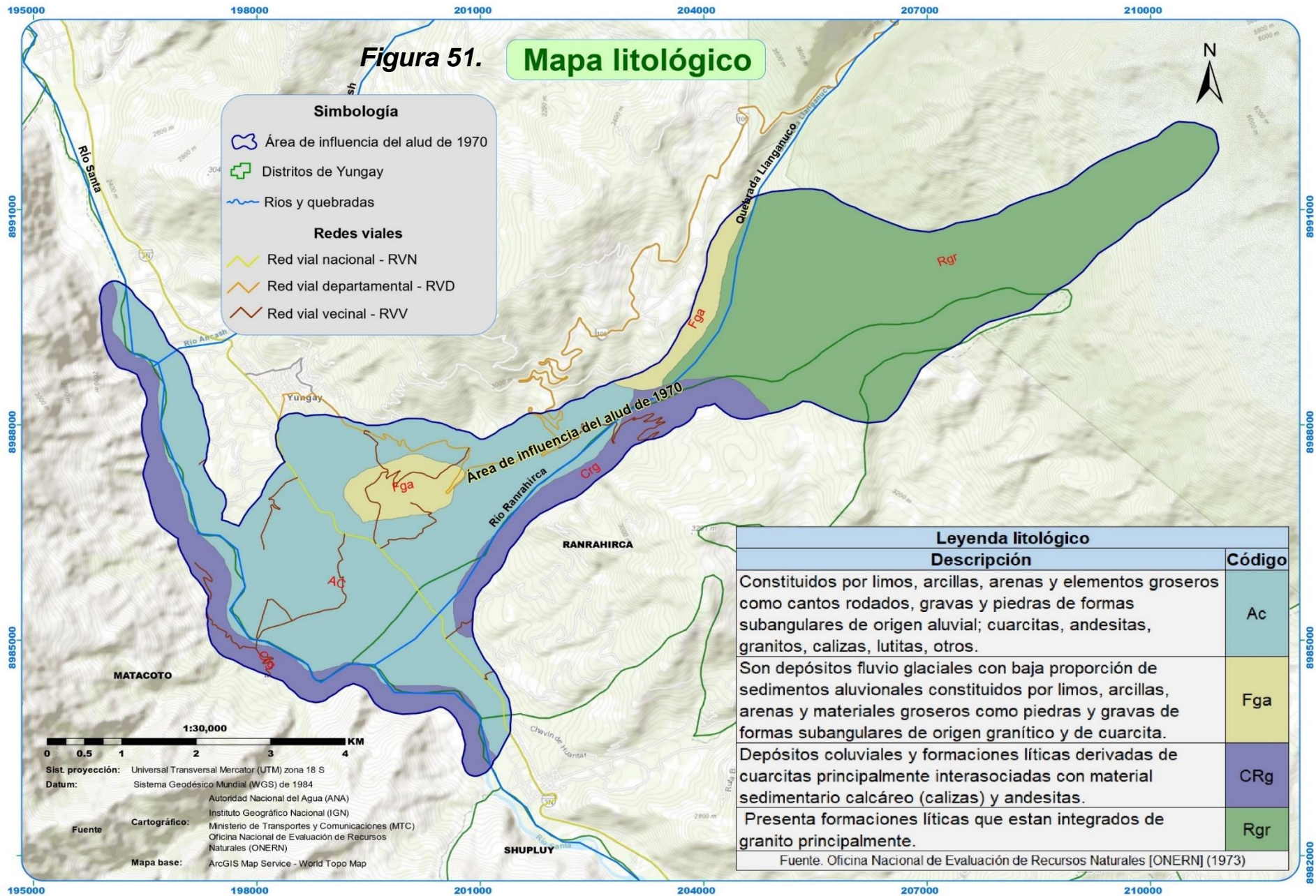


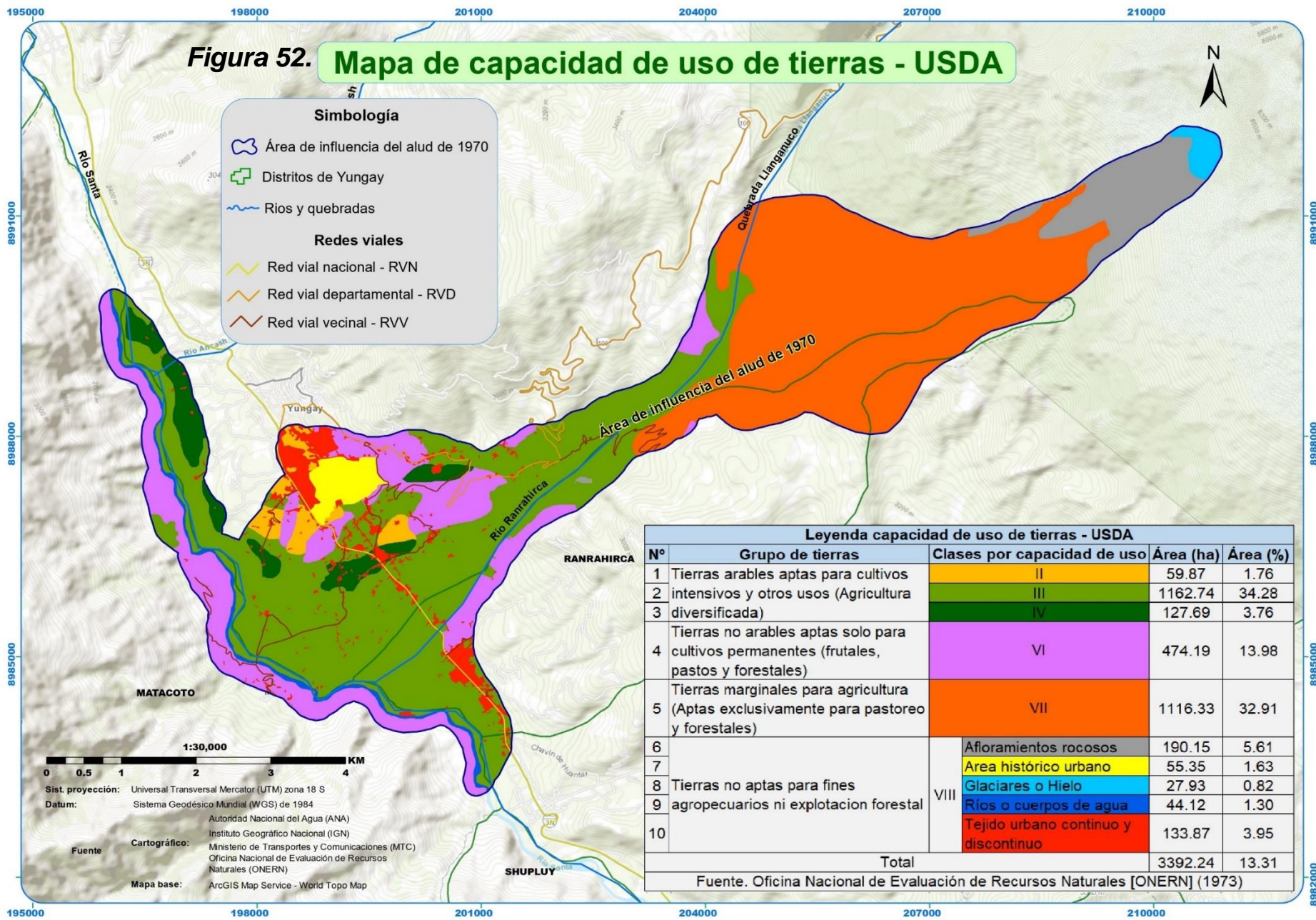


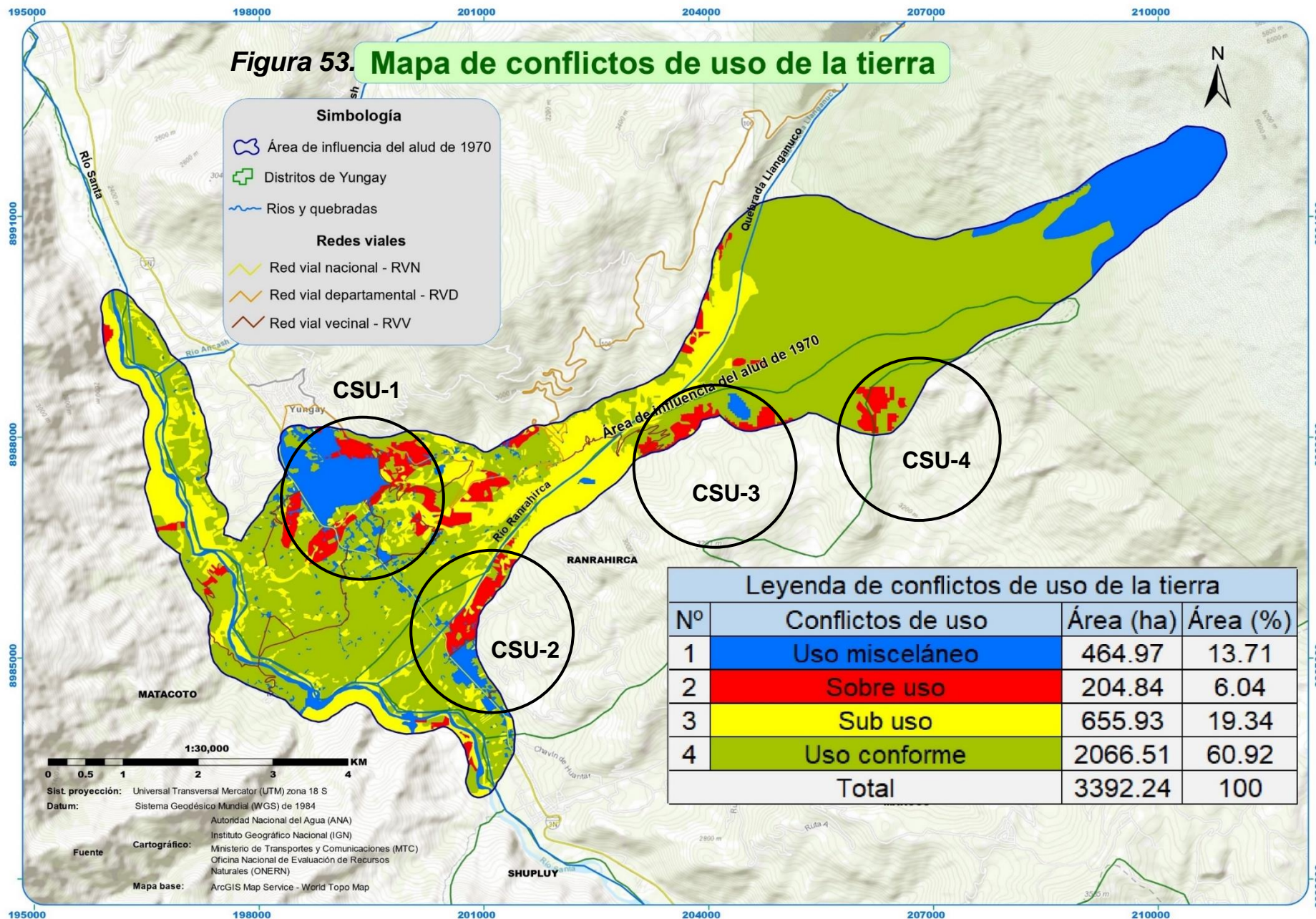












Anexo B. Caracterización de la cobertura vegetal

Tabla 23

Especies de cultivos transitorios del área de influencia del alud de 1970.

Ítem	Familia	Especie	Nombre común
1		<i>Chenopodium oleraceum</i> E.H.L.Krause	Espinaca
2	<i>Amaranthaceae</i>	<i>Allium cepa</i> WCSP	Cebolla
3		<i>Allium sativum</i> L.	Ajo
4	<i>Apiaceae</i>	<i>Daucus carota</i> L.	Zanahoria
5	<i>Asteraceae</i>	<i>Lactuca sativa</i> L.	Lechuga
6	<i>Basellaceae</i>	<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	Olluco o ulluco
7		<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i> L.	Repollo
8	<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Botrytis</i>	Coliflor
9		<i>Cucurbita ficifolia</i> P.M.Bouché	Calabaza
10	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne	Zapallo macre
11		<i>Pisum sativum</i> L.	Arveja
12		<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol común
13	<i>Fabaceae</i>	<i>Vicia faba</i> L.	Haba
14		<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Vainita
15		<i>Medicago sativa</i> L.	Alfalfa
16	<i>Oxalidaceae</i>	<i>Oxalis tuberosa</i> Mol.	Oca
17		<i>Zea mays</i> (L.) Sp. Pl	Maíz, maíz chala
18		<i>Hordeum vulgare</i> L.	Cebada
19	<i>Poaceae</i>	<i>Triticum aestivum</i> L.	Trigo
20		<i>Avena sativa</i> L.	Avena
21		<i>Solanum tuberosum</i> L.	Papa
22	<i>Solanaceae</i>	<i>Capsicum annum</i> L.	Pimiento o rocoto

Tabla 24

Principales especies de cultivos permanentes del área de influencia del alud de 1970.

Ítem	Familia	Especie	Nombre común
1	<i>Annonaceae</i>	<i>Annona cherimola</i> Mill.	Chirimoyo
2	<i>Cactaceae</i>	<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	Nopal
3	<i>Ericaceae</i>	<i>Vaccinium myrtillum</i> St.-Lag.	Arándano
4	<i>Fabaceae</i>	<i>Inga feuilleei</i> DC.	Pacay o pacae
5	<i>Lauraceae</i>	<i>Persea americana</i> Mill	Palto
6		<i>Cydonia oblonga</i> Miller	Membrillero
7		<i>Malus domestica</i> Borkh	Manzano
8		<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Duraznero
9	<i>Rosaceae</i>	<i>Fragaria vesca</i> Hook.	Fresa
10		<i>Eriobotrya japonica</i> Thunb.	Níspero
11		<i>Prunus salicifolia</i> Kunth	Capulí o capulli
12		<i>Prunus domestica</i> Thunb.	Ciruelo
13		<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle	Limero
14	<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus limon</i> Osbeck	Limonero
15		<i>Citrus sinensis</i> Osbeck	Naranja
16		<i>Pouteria lucuma</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Lúcuma
17	<i>Sapotaceae</i>	<i>Physalis peruviana</i> var. <i>latifolia</i> (Lam.) Dunal	Aguaymanto o uvilla

Tabla 25

Principales especies de bosque denso bajo del área de influencia del alud de 1970.

Ítem	Familia	Especie	Nombre común
1	<i>Adoxaceae</i>	<i>Sambucus peruviana</i> Kunth	Rayán, arrayán, sauco
2	<i>Anacardiaceae</i>	<i>Schinus molle</i> var. <i>huigan</i> (Molina) Marchand	Molle
3		<i>Ambrosia arborescens</i> Miller	Marku, marju, marco
4		<i>Viguiera lanceolata</i> Britton	Sunchu, sunchus
5		<i>Aristeguietia discolor</i> (DC.) R.King & H.Rob.	Tsayanco, killua
6	<i>Asteraceae</i>	<i>Achyrocline alata</i> (Kunth) DC.	Lichupa rinrin
7		<i>Gynoxys caracensis</i> Muschl.	Ticllash, Limbar
8		<i>Jungia paniculata</i> (DC.) A. Gray	Matico
9		<i>Gynoxys oleifolia</i> Muschl.	Japru, japur
10	<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aliso, ramrash
11	<i>Bignoniáceas</i>	<i>Tecoma sambucifolia</i> H.B.K	Huaroma
12		<i>Senna multiglandulosa</i> (Jacq.) H.S.Irwin & Barneby	Mutuy, wishllaq
13	<i>Fabaceae</i>	<i>Spartium junceum</i> L. Ildis	Retama
14		<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	Karanka, tara
15	<i>Passifloraceae</i>	<i>Passiflora trifoliata</i> Cav.	Puroqsha, purush, granadilla silvestre
16		<i>Passiflora tripartita</i> (Juss.) Poir.	Purush, purush redondo
17	<i>Poaceae</i>	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine ex Carrière) Stapf	Cortadera jesje, sejsi, tseqtseq
18		<i>Monnina salicifolia</i> Ruiz & Pav.	Anca usa, muchisa, muchuy, jupay chucru
19		<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i> (Kunth) Meisn.	Aurushu, aurinshu
20	<i>Proteaceae</i>	<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lamark) Brown	Chacpá, Chaqpá, cucharilla
21		<i>Rubus robustus</i> P.J.Müll.	Shira casha, shiracsha
22	<i>Rosaceae</i>	<i>Polylepis incana</i> Kunth	Queñual
23		<i>Rubus fruticosus</i> Pollich	Zarzamora

24		<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.	Quenua, quenua, quiñua
25	Salicaceae	<i>Salix babilónica</i> L.	Sauce llorón, sauce llorón de Babilonia
26		<i>Salix chilensis</i> Molina	Sauce
27	Sapindaceae	<i>Dodonea viscosa</i> Jacq.	Chamana
28	Scrophulariaceae	<i>Buddleja incana</i> Ruiz & Pav.	Quishuar, kiswar
29		<i>Cestrum auriculatum</i> L'Hér.	Hierba santa
30		<i>Cestrum conglomeratum</i> Ruiz & Pav.	Llejlla, uran llejlla
31	Solanaceae	<i>lochroma umbellatum</i> (Ruiz & Pav.) Hunziker ex D'Arcy	Rukii, San Pablo, quebrolla
32		<i>Jaltomata bernardelloana</i> S. Leiva & Mione	Sogorome, lanqii
33		<i>lochroma umbellatum</i> (Ruiz & Pav.) Hunz.	Rukii
34	Urticaceae	<i>Phenax hirtus</i> (Sw.) Wedd.	Pukatullu, pukaqeru

Tabla 26

Principales especies de vegetación arbustiva y herbácea abierta del área de influencia del alud de 1970.

Ítem	Familia	Especie	Nombre común
1	Adoxaceae	<i>Viburnum mathewsii</i> (Oerst.) Killip & A.C. Sm.	Putska
2		<i>Alternanthera porrigens</i> (Jacq.) Kuntze	Cruz qiru, palo de cruz
3		<i>Chenopodium murale</i> L.	Lichqanya
4	Amaranthaceae	<i>Guilleminea densa</i> (Willd. ex Schult.) Moq.	Kushpi
5		<i>Amaranthus hybridus</i> K.Krause	Yuyo, aataqo
6		<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	Kaamash, paico
7	Araceae	<i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) Spreng.	Cartucho
8	Asparagaceae	<i>Agave cordillerensis</i> Lodé & Pino	Penka, pinka

9	<i>Achyrocline alata</i> (Kunth) DC.	Desconocido
10	<i>Ageratina sternbergiana</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.	Warmiyaa
11	<i>Ambrosia arborescens</i> Mill.	Marco, marcuu
12	<i>Antennaria linearifolia</i> Wedd.	Coca silvestre
13	<i>Aristeguietia discolor</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.	Tsayanco, killua
14	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Ajenko
15	<i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera	Ucushpa chupan
16	<i>Baccharis genistelloides</i> (Lam.) Pers.	Chinchimallii, karkeha, esquinado
17	<i>Chuquiraga spinosa</i> Less.	Huamanpinta
18	<i>Heliopsis buphthalmoides</i> (Jacq.) Dunal	Qaqush, wishka wayta, qoha qora
19	<i>Hypochaeris taraxacoides</i> (Meyen & Walp.) Ball	Chicoria de la puna
20	Asteraceae <i>Jungia schueriae</i> harling	Karmatash, karamatas, matico, matsacraa
21	<i>Munnozia hastifolia</i> (Poepp.) H.Rob. & Brettell	Yolae wayta
22	<i>Ophryosporus peruvianus</i> R.M.King & H.Rob.	Kipiksa, sayanco
23	<i>Paranephelius bullatus</i> A.Gray ex Wedd.	Panaas
24	<i>Schkuhria pinnata</i> (Lam.) Kuntze ex Thell.	Ayaq pitsana
25	<i>Senecio albaniae</i> H.Beltrán	Karuash, kalluash wayta
26	<i>Senecio canescens</i> Bernh.ex DC.	Luichupa rinrin
27	<i>Senecio</i> sp. (R. Castañeda)	Upituckru, upitucllu, upiipatucllum, sucumonte
28	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Diente de leon
29	<i>Gnaphalium americanum</i> Mill.	Allqupakallun, lengua de perro

30		<i>Gynoxys caracensis</i> Muschl.	Limbar
31		<i>Baccharis tricuneata</i> (L.f.) Pers.	Llinllish, taya Shillku, yuraq
32		<i>Baccharis tomentosa</i> Thunb.	Paaqllash monte
33		<i>Werneria nubigena</i> Kunth	Cóndor cebolla
34		<i>Bidens pilosa</i> L.	Shillku, chilco, amor seco
35		<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Kgaña, kashakgaña macho, cerraja
36		<i>Sonchus oleraceus</i> (L.) L.	Kashakgaña, hembra, cerraja kgaña
37		<i>Tagetes multiflora</i> Kunth	Yakutsintsu, chinchu, tsintsu, tuna tsintsu
38		<i>Viguiera lanceolata</i> Britton	Sunchu, latak suncho, sunchus, piña
39		<i>Chionopappus benthamii</i> S.F.Blake	Kuruputska
40		<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Chilca
41	Boraginaceae	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	Puma shinua
42		<i>Brassica rapa</i> L.	Ñapus
43	Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	Chichikraa
44		<i>Rorippa nasturtium-</i> <i>aquaticum</i> (L.) Hayek	Yuraq birrus, berros blancos
45	Bromeliaceae	<i>Puya</i> sp. (R. Castañeda)	Keski
46		<i>Tillandsia humilis</i> C.Presl	Wiqlla
47	Cactaceae	<i>Austrocylindropuntia</i> (Muehlenpf.) Backeb.	Unkushkasha
48		<i>Matucana haynei</i> (Otto ex Salm-Dyck) Britton & Rose	Kurikasha
49		<i>Calceolaria angustiflora</i> Ruiz & Pav.	Urkupashta, hierba culebra, karwashlaria
50	Calceolariaceae	<i>Calceolaria chelidonioides</i> Kunth	Bolsa del pastor, arhuee Tullu
51		<i>Calceolaria pinnata</i> L.	Urkupashta, bolsa del pastor, arhuee tullu

52		<i>Calceolaria utricularioides</i> Benth.	Arhuee tullu, arhuee tulli
53	<i>Equisetaceae</i>	<i>Equisetum bogotense</i> Kunth	Cola de caballo
54		<i>Astragalus garbancillo</i> Cav.	Patsapa makin
55		<i>Dalea cylindrica</i> Hook.	Intipawarmin, intipanawin, inti qura
56	<i>Fabaceae</i>	<i>Desmodium intortum</i> (Mill.) Urb.	Pega pega
57		<i>Desmodium molliculum</i> (Kunth) DC.	Allqpachaquin, pati perro
58		<i>Lupinus lindleyanus</i> J.Agardh	Taullish, tuna tauri, ircataullish
59	<i>Geraniaceae</i>	<i>Erodium malacoides</i> (L.) L'Hér.	Alfiler, alfilerillo, timpicha
60		<i>Clinopodium sericeum</i> (C. Presl ex Benth.) Govaerts	Koyal
61	<i>Lamiaceae</i>	<i>Salvia oppositiflora</i> Ruiz & Pav.	Shokumpa wayta
62		<i>Minthostachys mollis</i> (Benth.) Griseb.	Muña
63		<i>Caiophora cirsiifolia</i> C.Presl	Latak shinua, gachgu shinua, shishu shinua
64	<i>Loasaceae</i>	<i>Nasa grandiflora</i> (Desr.) Weigend	Boton shinua, hatun shinua, puma shinua, urqu shinua
65		<i>Lepechinia meyenii</i> (Walp.) Epling	Salvia
66	<i>Malvaceae</i>	<i>Malva parviflora</i> L.	Malva
67		<i>Fuertesimalva leptocalyx</i> (Krapov.) Fryxell	Puchmus
68	<i>Nyctaginaceae</i>	<i>Mirabilis campanulata</i> Heimerl	Natikshu, ñatikshu
69		<i>Oenothera laciniata</i> Hill	Ticlanaria, licshanya
70	<i>Onagraceae</i>	<i>Oenothera rosea</i> L'Hér. ex Aiton	Chupa sangre
71	<i>Oxalidacea</i>	<i>Oxalis megalorrhiza</i> Jacq. E	Puchgus, ucaullo, arashpayucan
72	<i>Passifloraceae</i>	<i>Passiflora peduncularis</i> Cav.	Purush, tuna purush

73	<i>Phrymaceae</i>	<i>Mimulus glabratus</i> Kunth	Karuash birrus, berro amarillo, berro dulce
74	<i>Piperaceae</i>	<i>Peperomia inaequalifolia</i> var. <i>Galioides</i> (Kunth) Pino	Congona, tunacongona, congona silvestre
75		<i>Plantago lanceolata</i> L.	Llantén, llantén macho
76	<i>Plantaginaceae</i>	<i>Plantago major</i> L.	Llantén
77		<i>Veronica persica</i> Poir.	Lucila
78		<i>Bromus berterioanus</i> Colla	Paja
79		<i>Calamagrostis amoena</i> (Pilg.) Pilg.	Ichu, achu
80		<i>Nassella mucronata</i> (Kunth) R.W.Pohl	Shuklla, allqupashukllan
81		<i>Poa serpaiana</i> Refulio	Paja
82		<i>Polypogon elongatus</i> Kunth	Desconocido
83		<i>Vulpia bromoides</i> (L.) Gray	Pajonal
84		<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C.Gmel.	Paja
85		<i>Avena sterilis</i> L.	Cebadilla
86	<i>Poaceae</i>	<i>Bothriochloa saccharoides</i> (Sw.) Rydb.	Desconocido
87		<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine ex Carrière) Stapf	Tseqtseq
88		<i>Nassella pubiflora</i> (Trin. & Rupr.) É.Desv.	Paja
89		<i>Bromus catharticus</i> Vahl	Shuqlla, allqupashuqllan
90		<i>Paspalum penicillatum</i> Hook.f.	Arac kehua
91		<i>Poa carazensis</i> Pilg.	Paja
92		<i>Jarava ichu</i> Ruiz & Pav.	Ichu, achu
93		<i>Poa glaberrima</i> Tovar	Shuqlla
94		<i>Festuca hieronymi</i> Hack.	Kgatsil
95		<i>Monnina salicifolia</i> Ruiz & Pav.	Yanash, muchisa, mushikura
96	<i>Polygalaceae</i>	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i> (Kunth) Meisn.	Aurushu, aurinshu, soksoma
97		<i>Rumex crispus</i> L.	Chuchuqura, acelga
98		<i>Portulaca oleracea</i> L.	Pilto

99	<i>Pteridaceae</i>	<i>Cheilanthes myriophylla</i> Desv.	San Juan kora, inka coca
100		<i>Fragaria indica</i> Andrews	Fresa silvestre
101		<i>Margyricarpus pinnatus</i> (Lam.) Kuntze	Perlas, pawaa
102	<i>Rosaceae</i>	<i>Hesperomeles ferrugínea</i> (Persoon) Bentham	Tuuskar, manzana
103		<i>Arcytophyllum thymifolium</i> (Ruiz & Pav.) Standl.	Wiscurpachaqu in, wiscurpa tukrum, mallisma
104	<i>Scrophulariaceae</i>	<i>Alonsoa acutifolia</i> Ruiz & Pav.	Milla milla
105		<i>Jaltomata procumbens</i> (Cav.) J.L.Gentry	Ullma, areumlla
106		<i>Lycianthes lycioides</i> (L.) Hassl.	Tuuskar, uchkus
107	<i>Solanaceae</i>	<i>Salpichroa tristis</i> Miers	Shupllak, shupllaku
108		<i>Solanum juninense</i> Bitter	Kashausu macho
109		<i>Solanum nigrescens</i> M. Martens & Galeotti	Qachuusu, allqupaumllan
110		<i>Thelypteris glandulosolanosa</i> (C. Chr.) R.M. Tryon	Palma qora, palma palma, shishu
111	<i>Thelypteridaceae</i>	<i>Thelypteris rufa</i> (Poir.) A.R. Sm.	Palmera
112		<i>Urtica flabellata</i> Kunth	Ortiga china
113	<i>Urticaceae</i>	<i>Urtica leptophylla</i> Kunth	Shinua, ortiga roja
114		<i>Urtica urens</i> L.	Yanashinua, ortiga negra
115	<i>Verbenaceae</i>	<i>Verbena hispida</i> Ruiz & Pav.	Verbena silvestre

Anexo C. Matriz de cambio de uso de la tierra (1970 – 2020).

Tabla 27

Cambio y usos de la tierra (1970 – 2020).

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Código	Área (ha) 1970	Área (ha) 2000	Área (ha) 2013	Área (ha) 2020
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo / discontinuo	AUrbCD		84.53	109.45	133.87
		1.1.2 Área histórico urbano	AHU	5.31	63.12	62.80	55.35
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		CT	133.50	1181.76	1317.05	1059.28
	2.2 Cultivos permanentes		CP		62.13	119.26	232.44
	3.1 Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo	BDB	17.26	623.07	479.29	453.01
	3.2 Bosques plantados		BP		48.28	80.92	156.40
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Vegetación arbustiva/ herbácea abierta	VAHA	20.13	1037.68	959.71	1026.37
		3.4.1 Afloramientos rocosos	AR		114.06	186.53	190.15
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas y sepultadas)	TD	3176.21	5.69	7.46	13.33
		3.4.3 Glaciares o hielo	G		115.65	27.92	27.93
4. Áreas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	VAC		9.17		
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos o cuerpos de agua	CA	39.83	47.10	41.85	44.13
Total				3392.24	3392.24	3392.24	3392.24

Anexo D. Especies de flora identificadas en el área de estudio.

Figura 54

Purush - *Passiflora trifoliata* Cav.



Figura 55

Mora - *Rubus robustus* P.J.Müll



Figura 56

Asiento de suegra - *Matucana yanganucensis*



Figura 57

Oca silvestre - *Oxalis megalorrhiza* Jacq. E



Figura 58

Cóndor cebolla - *Wernería nubigena* Kunth



Figura 59

Jacapa pishqun - *Lycopodium crassum* H. & B. ex W.



Anexo E. Panel fotográfico de la ejecución de tesis.

Figura 60
Área degradada



Figura 62
Cobertura de bosque denso bajo



Figura 64
*Transecto – vegetación arbustiva /
herbácea abierta*



Figura 61
Toma de puntos de control, cultivos
permanentes



Figura 63
Cultivo permanente de arándano



Figura 65
Transecto - bosque denso bajo



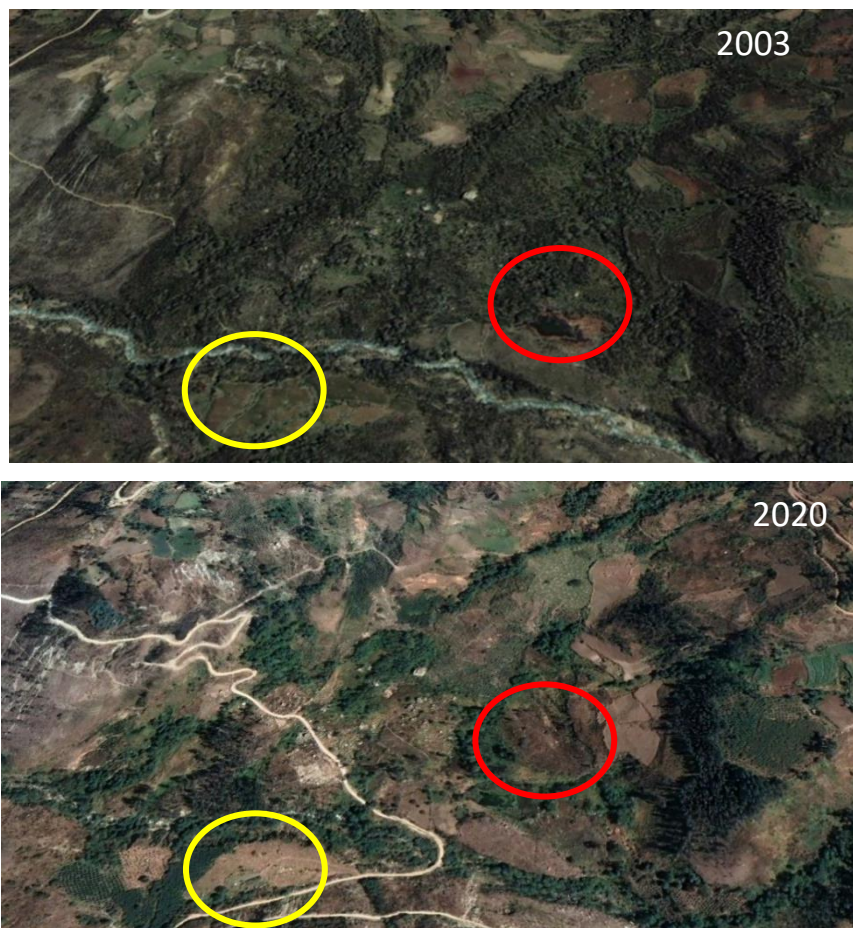
Figura 66

Incendio de la cobertura vegetal



Figura 67

Cambio de la cobertura y usos de la tierra



Fuente: Google Earth Pro (2020).